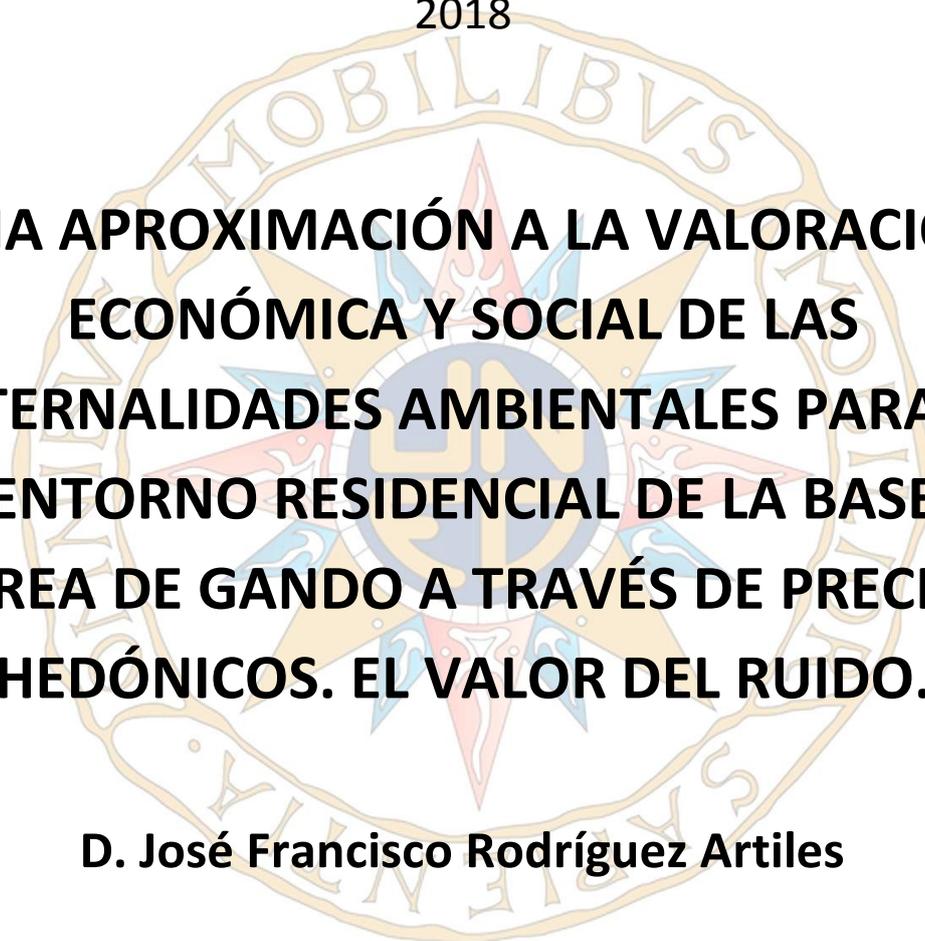


TESIS DOCTORAL

2018



**UNA APROXIMACIÓN A LA VALORACIÓN
ECONÓMICA Y SOCIAL DE LAS
EXTERNALIDADES AMBIENTALES PARA EL
ENTORNO RESIDENCIAL DE LA BASE
AÉREA DE GANDO A TRAVÉS DE PRECIOS
HEDÓNICOS. EL VALOR DEL RUIDO.**

D. José Francisco Rodríguez Artiles

**Programa de Doctorado en Economía y
Empresa**

**Dra. D^a. Amelia Pérez Zabaleta
Dr. D. José María Labeaga Azcona**

AGRADECIMIENTOS

La presente tesis es un esfuerzo en el cual, directa o indirectamente, participaron varias personas leyendo, opinando, corrigiendo, teniéndome paciencia, dándome ánimos, acompañándome en los momentos de crisis y en los momentos de felicidad.

Agradezco a la Dra. D^a. Amelia Pérez Zabaleta por haber confiado en mi persona, por la paciencia, por ofrecer su colaboración en todo momento y por la dirección de esta tesis. Al Dr. D. José María Labeaga Azcona como codirector, repasando, proponiendo nuevas líneas y participando en diversos puntos de este estudio. A los responsables e integrantes de las distintas Secciones de la Base Aérea de Gando y del Cuartel General del Mando Aéreo de Canarias, que sin su inestimable ayuda, hubiese sido imposible recopilar toda la información básica de esta investigación. A mis mandos, superiores y subordinados que facilitaron en gran medida, no sólo obtener la información para este estudio sino también, prestaron su desinteresada colaboración.

Gracias a mi mujer, hija, mis padres y hermana por el apoyo tanto moral como físico que me brindaron durante esta aventura que significó la tesis y que, de forma incondicional, entendieron mis ausencias y mis malos momentos.

Especial mención para mi padre que siempre estará en mi corazón y en mis recuerdos.

Gracias a todos.

ÍNDICE

Índice de Tablas

Índice de Gráficos

Acrónimos

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	10
1.1. OBJETO DE ESTUDIO	10
1.2. ANTECEDENTES	20
1.2.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA Y AMBIENTAL.....	20
1.2.2. SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LAS BASES AÉREAS ESPAÑOLAS	25
1.2.3. EL RUIDO Y EL SONIDO.....	28
1.3. EXPOSICIÓN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO	32
CAPÍTULO 2. EXPOSICIÓN Y CUANTIFICACIÓN SONORA EN LA ZONA, SINTETIZACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS Y UNA PRIMERA APROXIMACIÓN TEÓRICA	34
2.1. INTRODUCCIÓN	34
2.2. LEGISLACIÓN ACÚSTICA	35
2.3. LA FÍSICA DEL RUIDO AEROPORTUARIO Y SU CUANTIFICACIÓN. ASPECTOS PSICOLÓGICOS DEL RUIDO: CORRELACIÓN CON LAS MOLESTIAS PERCIBIDAS Y LA PONDERACIÓN EN SU MEDICIÓN.....	40
2.4. ¿CÓMO EVALÚAR EL RUIDO EMITIDO EN LAS INMEDIACIONES DE UNA BASE AÉREA POR LA ACTIVIDAD DE LAS AERONAVES MILITARES?	42
2.5. DESCRIPTORES E ÍNDICES DE RUIDO.....	46
2.6. ¿CÓMO MITIGAR EL RUIDO DE LAS AERONAVES MILITARES? INVERSIONES EMPRENDIDAS POR LA BASE AÉREA DE GANDO Y AENA	51

2.7. LA VALORACIÓN DEL RUIDO AEROPORTUARIO MILITAR.....	56
2.8. TÉCNICAS DE EVALUCIÓN DEL RUIDO AEROPORTUARIO MILITAR SOBRE EL MERCADO INMOBILIARIO: MEDICIÓN Y PREVISIÓN O CÁLCULO	61
2.9. EVALUCIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. LOS PRECIOS HEDÓNICOS Y EL NDSI	66
2.10. EVALUCIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. UNA VALORACIÓN CONTINGENTE Y LA DAP	71

CAPÍTULO 3. IMPACTO DEL RUIDO AEROPORTUARIO: UNA APROXIMACIÓN AL VALOR DE MERCADO DE LAS VIVIENDAS ALEDAÑAS A LA BASE AÉREA DE GANDO 76

3.1. INTRODUCCIÓN	76
3.2. MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO. DATOS DE ENTRADA DE LA BASE AÉREA DE GANDO	77
3.2.1. UBICACIÓN	79
3.2.1.1. Zonificación y planificación	81
3.2.1.2. Clasificación y calificación del suelo	83
3.2.1.3. Análisis demográfico.....	87
3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TRAYECTORIAS	90
3.2.3. TEMPERATURA, PRESIÓN Y HUMEDAD MEDIA ANUAL	92
3.2.4. TIPOS DE AERONAVES Y OPERACIONES	95
3.2.5. DATOS DEL AEROPUERTO CIVIL: AEROPUERTO DE GRAN CANARIA.....	98
3.2.6. PRECIO DE LA VIVIENDA EN AL ZONA DE ESTUDIO	99
3.2.7. ASOCIACIONES EN CONTRA DEL RUIDO EN LA ZONA	105
3.3. CUANTIFICACIÓN SONORA EN LA ZONA	107
3.4. SÍNTETIZACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS Y UNA PRIMERA APROXIMACIÓN TEÓRICA	117

CAPÍTULO 4. APROXIMACIÓN ECONOMETRICA A TRAVÉS DE PRECIOS HEDÓNICOS PARA LAS VIVIENDAS EN EL ENTORNO RESIDENCIAL DE LA BASE AÉREA DE GANDO 122

4.1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO INICIAL 122

4.2. EL MODELO DE PRECIOS HEDÓNICOS Y EL MERCADO DE LA VIVIENDA 125

 4.2.1. EQUILIBRIO HÉDONICO DEL MERCADO DE LA VIVIENDA . 135

 4.2.2. DIFICULTADES EN LA OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN DE PRECIOS HEDÓNICOS Y LA REGRESIÓN ECONOMETRICA 140

4.3. SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VARIABLES 145

 4.3.1. VARIABLE ENDÓGENA. OBTENCIÓN DE DATOS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE 148

 4.3.2. VARIABLES EXPLICATIVAS, EXÓGENAS, AUTÓNOMAS O INDEPENDIENTES. IDENTIFICACIÓN DEL ATRIBUTO AMBIENTAL Y JUSTIFICACIÓN TEÓRICA DE LA ELECCIÓN FINAL DE LAS VARIABLES 149

 4.3.3. SELECCIÓN DE UNA MUESTRA SIGNIFICATIVA. LIMITACIÓN GEOGRÁFICA 160

4.4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO 168

4.5. ESTIMACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO 181

 4.5.1. ESPECIFICACIÓN 182

 4.5.2. OBSERVACIONES INFLUYENTES Y OUTLIERS. 191

 4.5.3. NORMALIDAD DE LAS PERTURBACIONES. 194

 4.5.4. BONDAD DEL AJUSTE Y SIGNIFICATIVIDAD GLOBAL DEL MODELO 196

 4.5.5. HIPÓTESIS Y CONTRASTE: FORMA FUNCIONAL Y CAMBIO ESTRUCTURAL, HETEROCEDASTICIDAD Y AUTOCORRELACIÓN, MULTICOLINEALIDAD 199

 4.5.6. ANÁLISIS DE PREDICCIÓN 209

CAPÍTULO 5. IMPLICACIONES DE POLÍTICA AMBIENTAL PARA EL CONTROL DEL RUIDO 212

CONCLUSIONES 218

APÉNDICE I. NORMATIVA DE REFERENCIA 227

BIBLIOGRAFÍA 230

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Protección del medio y mantenimiento de zonas verdes y ajardinadas de la BA de Gando.....	24
Tabla 2. Mantenimiento y optimización de instalaciones. Plan de descontaminación de suelos, tratamientos de vertidos, almacenamiento y gestión de residuos urbanos.....	26
Tabla 3. Límites y efecto a evitar o situación en la que se aplica según la OMS	29
Tabla 4. Ordenanzas Municipales sobre protección del medio ambiente contra la emisión de ruidos y vibraciones vigentes	38
Tabla 5. Inversión en protección contra la contaminación acústica. BA de Gando	54
Tabla 6. Aplicación del PAA a 14 de junio del 2012.....	55
Tabla 7. Usos del suelo.....	81
Tabla 8. Superficies totales de clasificación de suelo en el área de estudio por municipios	83
Tabla 9. Superficie por calificación de suelo existente en el área de estudio.....	85
Tabla 10. Población y viviendas totales de los municipios presentes en el área de estudio (provincia de Las Palmas).....	87
Tabla 11. Relación de centros educativos en la zona de estudio.....	87
Tabla 12. Personal destinado en la BA de Gando	88
Tabla 13. Distribución de operaciones de aterrizaje y despegue por pista. BA de Gando	91
Tabla 14. Temperatura, humedad y presión en la BA de Gando en el 2005.....	94
Tabla 15. Características técnicas del Fokker F-27	95
Tabla 16. Características técnicas del F-18.....	96
Tabla 17. Distribución horaria porcentual por períodos. BA de Gando, 2005.....	96
Tabla 18. Distribución de operaciones por cabecera. BA de Gando, 2005	97
Tabla 19. Índice de precios de la vivienda nueva y de segunda mano Canarias-Total Nacional. Periodo 2007-2012. Medias anuales. Base 2007.....	102
Tabla 20. Precio de la Vivienda Libre de los municipios afectados	103
Tabla 21. Nivel dB(A) aceptable y respuesta de la población por ruido	106
Tabla 22. Simulaciones de los Mapas de Ruido. BA de Gando, escenario 2005 ..	108
Tabla 23. Superficie afectada por hectáreas y nivel dB(A) en período L_{den}	108
Tabla 24. Tipología de la vivienda predominante por municipio e isófona escenario 2012.....	112
Tabla 25. Intervalos de pérdida de valor euros/m ² según núcleo urbano e isófona de afectación y respuesta de la población al ruido escenario 2012	115

Tabla 26. Análisis de estudios econométricos sobre PH	130
Tabla 27. Valores de los parámetros para la transformación Box – Cox.....	143
Tabla 28. Variable dependiente o endógena, definición y observaciones	148
Tabla 29. Variables independientes o exógenas por características de la vivienda, definición y observaciones	149
Tabla 30. Datos medios de la muestra para 175 observaciones.....	166
Tabla 31. Modelos preseleccionados para el estudio	174
Tabla 32. Resultados de contrastes	175
Tabla 33. Criterios de información para la selección del modelo	176
Tabla 34. Resultados de la estimación de los regresores de los distintos modelos de PH propuestos	177
Tabla 35. Modelo 5 por MCO. Observaciones 1-175. Variable dependiente I_Pvc	184
Tabla 36. Modelo Final por MCO. Observaciones 1-175. Variable dependiente I_Pvc	188
Tabla 37. Observaciones con apalancamiento	193
Tabla 38. Distribución de frecuencias para what2. Observaciones 1-175. Número de cajas = 13, media = -3,2482e-016 y desv.típ.=0,249691	195
Tabla 39. Coeficientes de correlación. Valor crítico al 5% (a dos colas) = 0,1484 para n = 175.....	207
Tabla 40. Factores de inflación de varianza (FIV).....	208
Tabla 41. Predicciones 11 últimas observaciones en logaritmos. Intervalo de confianza al 95% con t (161,0.025) = 1,975	210
Tabla 42. Predicciones 11 últimas observaciones en unidades (euros). Intervalo de confianza al 95% con t (161,0.025) = 1,975	210

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Foto aérea de la BA de Gando.....	79
Gráfico 2. Cartografía catastral del área de estudio según tipología del suelo.....	86
Gráfico 3. Trayectorias simuladas. Configuración noreste. Cabecera 03R	91
Gráfico 4. Trayectorias simuladas. Configuración suroeste. Cabecera 21L	92
Gráfico 5. Evolución del precio de la vivienda en España 1997-2015.....	100
Gráfico 6. Superficie afectada indicador L_{den} , distribuidas las isófonas por colores	109
Gráfico 7. Superficie afectada indicador L_{night} , distribuida la isófona por color escenario 2012.....	113
Gráfico 8. Volumen de viviendas afectas por grupos según dB(A) recibidas escenario 2012.....	119
Gráfico 9. Relación entre DAP y cantidad z_i	139
Gráfico 10. Muestra del Municipio de Ingenio	163
Gráfico 11. Muestra del Municipio de Agüimes.....	164
Gráfico 12. Muestra del Municipio de Telde.....	164
Gráfico 13. Superficie afectada indicador L_{den} , distribuidas las isófonas por colores y viviendas de la muestra.....	165
Gráfico 14. Residuos del modelo estimado. Log Pvc y 175 observaciones	191
Gráfico 15. Apalancamiento e influencia de las observaciones	192
Gráfico 16. Estadístico para el contraste de normalidad. Gráfica de residuos. Chi-cuadrado	194
Gráfico 17. Variable estimada y observada por número de observación	197
Gráfico 18. Variable endógena observada y estimada respecto a Scon	197
Gráfico 19. Variable endógena observada y estimada respecto a LogSsue	198
Gráfico 20. Valores absolutos de los errores versus variable endógena ajustada	200
Gráfico 21. Variables exógenas Scon, logSsue, sqAntg y sqDist frente a los residuos al cuadrado (residuos2)	202
Gráfico 22. Gráfico de predicción entre la endógena observada y la predicha para toda la muestra (175 observaciones).....	209

ACRÓNIMOS

AENA: Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea.

AIP (Aeronautical Information Publication): Publicación de Información Aeronáutica

AIR (Aerospace Information Reports): Informes sobre Información Aeroespacial.

ATASA: Asociación Profesional de Sociedades de Valoración.

BA: Base Aérea.

CEAC (European Civil Aviation Conference): Conferencia Europea de Aviación Civil.

CECAF: Centro de Cartografía y Fotogrametría del EA.

CNEA: Catálogo Nacional de Especies Amenazadas.

DAA: máxima disposición a ser compensado o disposición a aceptar.

DAP: Disposición a Pagar.

dB: decibelio.

EA: Ejército del Aire.

EL: Espacios Libres.

EPNLdB (Effective Perceived Noise Level): Nivel Efectivo de Ruido Percibido en dB.

EQD: Equipamiento Docente.

FAA (Federal Aviation Administration): Administración Federal de Aviación de EEUU.

FAR (Federal Aviation Regulations): Regulación Federal de Aviación de EEUU.

FFAA: Fuerzas Armadas.

GREL: Gnu Regression, Econometric and Time Series.

I: Industrial.

ICONA: Instituto para la Conservación de la Naturaleza.

INM (Integrated Noise Model): Modelo Integral de Ruido.

INTA: Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales Esteban Terradas.

IRU: índice de ruido urbano.

ISO (International Standard Organization): Organización Internacional de Normalización.

L_{Amax} : Nivel sonoro máximo alcanzado con ponderación "A".

L_{den} : Índice de ruido día-tarde-noche.

L_{eq} (A): Nivel sonoro continuo equivalente expresado en dB(A).

LIC: Lugar de Interés Comunitario.

L_{night} / L_n : Índice de ruido noche.

MACAN: Mando Aéreo de Canarias.

MCO: Mínimo Cuadrado Ordinario.

MINISDEF: Ministerio de Defensa.

NBE: Normas Básicas de Edificación.

NDSI (Noise Depreciation Sensitivity Index): Índice de depreciación/sensibilidad al ruido.

NEF (Noise Exposure Forecast): Probabilidad de Exposición al Ruido.

NNI (Noise and Number Index): Índice Numérico de Ruido.

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration): Administración Nacional Atmosférica y Oceánica de EEUU

NPS o SPL (Sound Pressure Level): Nivel de Presión Sonora.

OACI (International Civil Aviation Organization): Organización de Aviación Civil Internacional.

OEQ: Otros Equipamientos.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

OTAN: Organización del Tratado del Atlántico Norte.

PAA: Plan de Aislamiento Acústico.

PGOU: Planes Generales de Ordenación Urbana.

PH: Precios Hedónicos.

SAE (Society of Automotive Engineers): Asociación Profesional de Ingenieros.

SEA: Sección Económica Administrativa.

SEC: Sede Electrónica de la Dirección General del Catastro.

SEL (Sound Exposure Level): Nivel de Exposición Sonora, también conocido como Single Event Level o Nivel de un solo evento.

SGA: Sistema de Gestión Medioambiental.

SGAe: Espacio General Aeroportuario.

SIC: Schwarz Information Criterion.

SIGEA: Sistema Informático de Gestión del Ejército del Aire.

TRAGSA: Sociedad Estatal de Participaciones Industriales.

UE: Unión Europea.

VC: Valoración Contingente

VI: Variable Instrumental.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETO DE ESTUDIO

Actualmente, el deterioro medioambiental es una de las principales amenazas que pueden afectar a nuestra seguridad nacional. El cambio climático global, la escasez de agua potable, el daño infligido en la capa de ozono y la pérdida de biodiversidad, generan riesgos de naturaleza humanitaria, política y de seguridad internacional. El Ministerio de Defensa (MINISDEF en adelante) asume desde hace varias décadas, la novedosa dimensión medioambiental en el ámbito de la defensa con el desarrollo de su política; la implementación y certificación de Sistemas de Gestión Medioambientales (SGA en adelante); el perfeccionamiento de tecnologías alternativas en sus instalaciones; y la compatibilidad de su operatividad con la función de conservación de sus entornos naturales.

La necesidad de combinar el desarrollo de la defensa nacional con la conservación de los valores naturales y de la calidad de vida, y más concretamente, en el entorno de las Bases Aéreas del Ejército del Aire, precisa un modelo de actuación basado en la coordinación de factores económicos, sociales y ambientales, que nos permita aproximarnos a un modelo sostenible de desarrollo. En particular, la contaminación acústica es uno de los principales aspectos ambientales generados a causa de la actividad militar, y en especial, de las aeronaves militares. De ahí que, la reducción al mínimo de los niveles acústicos y la protección de la calidad de vida de las poblaciones del entorno de los recintos militares y, de los propios militares y civiles que trabajan en las Bases Aéreas (BA en adelante), se haya convertido en una de las prioridades del MINISDEF.

La gran mayoría de las organizaciones, tanto públicas como privadas, reconocen tener una preocupación real por el medioambiente. Unas veces por convencimiento propio, otras por la presión de la opinión pública o por imperativo legal. Las actividades industriales, empresariales o, en nuestro caso, de defensa nacional, se ven obligadas a incorporar tecnologías limpias y a poner medios para evitar el deterioro del ambiente. Esta preocupación se evidencia por las distintas asociaciones creadas con el objetivo de combatir la contaminación acústica en los alrededores de los aeropuertos¹ y

¹ Por ejemplo, la asociación ciudadana sin ánimo de lucro en contra de la ampliación del aeropuerto de Gando (Gran Canaria) denominada Asociación de Afectados por la Ampliación del Aeropuerto de Gando. En la misma zona, está la Plataforma de Afectados por el Plan de Aislamiento Acústico del Aeropuerto de Gran Canaria creada en 2013 en la Villa de Ingenio.

sentencias judiciales, no sólo en España² que obligan a tomar medidas para evitar la contaminación acústica. A pesar de ello, la población en general es consecuente con la necesidad de un aeropuerto como vía primordial de comunicación en cualquier comunidad.

La política medioambiental del MINISDEF tiene como pilar fundamental el desarrollo sostenible, que ha de ser compatible con la misión de defensa nacional de las Fuerzas Armadas (en adelante FFAA), y orientada a alcanzar los objetivos plasmados en la legislación vigente en materia de conservación, protección y recuperación de las condiciones medioambientales. Este esfuerzo en materia de medio ambiente incluye, entre otras actividades, la prevención y lucha contra la contaminación del medio, mediante acciones que permitan, especialmente, el control de la contaminación acústica originada en las proximidades de las BA como consecuencia de las actividades que se realizan en las mismas.

El crecimiento de la conciencia ambiental ha sido reforzado por un incremento en el análisis económico tanto teórico como aplicado, y más aún, en los proyectos de ámbito público que dependen de los presupuestos estatales, autonómicos o locales. La valoración de las externalidades, tanto positivas como negativas, ha recibido una mayor atención. Los gobiernos asumen que, para calcular medidas alternativas de inversión, se requiere estimar los valores monetarios de los beneficios y costes, tanto directos como indirectos, de diferentes acciones o proyectos, en términos de bienestar social. Una sostenibilidad económica exitosa de las FFAA depende de: un uso racional de los recursos ambientales; de la minimización de los impactos adversos de los proyectos de desarrollo, en la medida de lo posible y sin menguar la operatividad actual; del uso eficiente de los recursos; y, de la mejora mediante selección, planificación, diseño e implementación de los proyectos futuros. De esta forma, la valoración económica de externalidades ambientales en el ámbito de la defensa, juega un rol importante en la priorización y viabilidad de acciones y proyectos.

En el Boletín Oficial del MINISDEF número 155, del 9 de agosto de 2011, se hace referencia a la Instrucción 56/2011, de 3 de agosto, del Secretario de Estado de

² En 2015, el gobierno americano destinó unos 4,69 millones de dólares para compensar a 654 damnificados de Yamaguchi (Japón), una zona afectada por altos niveles de ruido (hasta 70 decibelios), emitidos por las aeronaves militares de la base aérea americana Iwakuni, tras una sentencia del tribunal japonés. En España en el 2008, el Tribunal Supremo condenó a AENA a adoptar las medidas precisas para que cesase el ruido producido por el sobrevuelo de aviones sobre la urbanización Ciudad Santo Domingo en Algete (Madrid), donde se alcanzaron picos de ruido de hasta 78,3 decibelios, y a que se indemnizara a sus vecinos.

Defensa sobre sostenibilidad ambiental y eficiencia energética en el ámbito del MINISDEF. Concretamente, en su punto 4, apartado a), punto primero, de lucha contra la contaminación acústica, expone: *“El Ejército de Tierra, la Armada, el Ejército del Aire (EA en adelante), los Órganos Directivos y Organismos Autónomos promoverán acciones encaminadas a minimizar los niveles de emisión acústica de sus Bases, Acuartelamientos y Establecimientos armonizando, en la medida de lo posible, la misión del MINISDEF con la calidad de vida de las poblaciones situadas en el entorno de las Bases, Acuartelamientos y Establecimientos. Se prestará especial atención a la realización de mapas de ruidos y de estudios acústicos [...]”*.

De las actividades que se desarrollan en las BA, las principales fuentes de emisión de ruido son las operaciones de despegue y aterrizaje de las aeronaves militares, y en un menor nivel, las preparaciones previas al vuelo en la pista. La normativa internacional, nacional e incluso autonómica, referente a instalaciones aeroportuarias en materia de contaminación acústica, no tienen aplicación en el ámbito militar. A pesar de ello, las medidas puestas en práctica por el EA, encaminadas a minimizar las molestias³ que causa el ruido, comprende tres elementos principales: reducción del ruido en la fuente; planificación y gestión de la utilización de los terrenos, procedimientos y operaciones de atenuación del ruido; y restricciones a las operaciones de las aeronaves militares.

La fijación de estos objetivos se complementa con la adopción de otras medidas relevantes y significativas como son: la evaluación continuada del impacto producido mediante sistemas de control y vigilancia; flujos de comunicación e información entre las autoridades locales, grupos de interés y público en general de los aspectos ambientales; la colaboración con los diferentes agentes del sector que permita detectar oportunidades de mejora; la ejecución de planes de aislamiento acústico como medida correctora, que garantice el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en el interior de los edificios, unidos a cuantiosas inversiones en equipamientos dentro de las propias BA; el cumplimiento, adaptado a las misiones de las FFAA, de los procedimientos de atenuación de ruidos aplicables a la aviación civil; el diseño o modificación de procedimientos de entrada y salida de aeronaves para evitar sobrevolar los núcleos poblacionales; entre otras actuaciones. Por todo ello, cuantificar tanto los costes como los beneficios de la defensa nacional se hace una

³ Artículo 3 c) Definiciones de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental.

misión complicada a efectos de su valoración, y más aún, del cálculo económico de las externalidades negativas producidas.

La consideración y consecuente valoración de un bien ambiental, se forma por el compendio tanto de la percepción individual o social como del grado de conocimiento del mismo. Cada vez es más habitual encontrarnos en diversas investigaciones mundiales y nacional, el uso de la modelización econométrica en la aplicación de la metodología hedónica para el estudio de los problemas ambientales (Azqueta, 1997), y en nuestro caso, el de la contaminación acústica y su afectación en el mercado de un bien raíz y heterogéneo como es el de la vivienda, debido a que ésta, puede ser considerada como la suma de un conjunto de atributos estructurales, del entorno y ambientales, que en ocasiones, no poseen un precio de mercado pero sí está implícito en el precio final de la vivienda (Freeman, 1992). Se convierte en un objetivo fundamental para el desarrollo de una política urbanística adecuada, el descubrir la importancia que concede cada individuo a cada atributo del bien en cuestión.

En todos los organismos dependientes del MINISDEF se han ido emprendiendo medidas en torno a la implantación de SGA. En este sentido, la BA de Gando tiene implantado un SGA de acuerdo con los principios de la Norma UNE-EN ISO 14001⁴, donde se compromete a fijarse objetivos que mejoran el medioambiente, a poner en marcha procedimientos para conseguir esos objetivos y a controlar que el plan está siendo cumplido. Esta gestión tiene por finalidad, mitigar en parte, la contaminación con objeto de que se reduzcan progresivamente las emisiones, efluentes y descargas de desechos, que provoquen un impacto negativo en el medio ambiente.

Otra medida que contribuye al estudio de la contaminación e impacto acústico en el entorno de las BA, es la realización de *Mapas Estratégicos de Ruido*, una de las bases fundamentales de este estudio. Para ello se ha tomado como referencia la normativa vigente para aeropuertos civiles. El resultado final del *Mapa Estratégico de Ruido* consistirá en la obtención de la *huella acústica*⁵ originada por las operaciones aéreas antes mencionadas, mediante la representación de curvas isófonas, considerando éstas como los lugares del plano donde el índice acústico representado tiene el mismo valor y, que nos servirá para limitar la superficie afectada por los distintos niveles sonoros para, posteriormente, aproximar el coste de la externalidad del ruido aeroportuario militar en las viviendas aledañas a la BA de Gando. En el presente

⁴ Para más información véase <http://www.iso.org/iso/home/>.

⁵ Orden FOM/926/2005 de 21 de marzo, por la que se regula la revisión de las *huellas de ruido* de los aeropuertos de interés general publicada en el BOE número 88 de 13 de abril del 2005.

trabajo, se analizan algunos de los aspectos relevantes para la toma de decisiones del sector de la defensa que pueden considerarse para dar una valoración objetiva de este bien público puro, los mismos se centran en la relación que tiene el valor de este servicio en términos de su capacidad operativa. Dichas consideraciones, permiten destacar la complejidad que tienen estas decisiones, debido al carácter intangible de los servicios que la defensa nacional proporciona para una sociedad. Asimismo, se evidencia, en el contexto actual de belicosidad en ciertas zonas del mundo, que existe un incremento de la necesidad de cubrir servicios de defensa, debido a la aparición de nuevas amenazas nacionales e internacionales a la seguridad nacional, los cuales tienen que ser provistos con menores insumos y bajo mayores restricciones presupuestarias.

En el caso de los aeropuertos militares, la mitigación de los efectos sónicos producidos por las aeronaves sobre las áreas residenciales circundantes, es generalmente costosa. Además, el ruido es uno de los principales costes sociales que se genera, a la vez que es difícilmente mitigable debido a la naturaleza cambiante del foco emisor (aumento del tráfico, variabilidad de operaciones y programación, cambio de las rutas de aproximación y alejamiento, disparidad de aeronaves, etc.). Habitualmente, suelen identificarse dos tipos de impactos básicos relacionados con esta externalidad: los distintos niveles de molestias que origina según el individuo aquejado y los efectos sobre la salud de la población afectada ante exposiciones prolongadas en el tiempo. De estos dos impactos, el primero tiene un claro carácter subjetivo que dificulta su cuantificación, en cambio, el segundo, suele cuantificarse a partir de los gastos médicos o pérdida de productividad en el trabajo. Por todo ello, y por ser el impacto más importante (Bickel *et al.*, 2003), este trabajo se centrará en la valoración monetaria de las molestias causadas por el ruido, y más concretamente, en la pérdida de valor de las viviendas colindantes a la BA de Gando en función del nivel de afectación mostrado por la *huella acústica*.

Uno de los planteamientos de base en la evaluación de los programas de mitigación es la valoración de los potenciales beneficios sociales. En este sentido, varios gobiernos europeos han utilizado los resultados de diversos estudios empíricos como base para el cálculo tanto de dichos beneficios en términos de bienestar, como de las indemnizaciones alternativas en función del daño producido (Navrud, 2002)⁶. En su

⁶ Se estima que el ruido ambiental tenía unos costes anuales para la salud en la UE de 45.644 millones de euros (INFRAS/IWW, 2004). En el País Vasco, “una persona estaría dispuesta a pagar 21,6 euros por reducir un dB(A) el nivel de ruido que soporta” (Hoyos, 2004, p. 249). Tras

mayor parte, dichos estudios han sido realizados aplicando dos técnicas de valoración económico-social: los precios hedónicos (PH en adelante) y la valoración contingente (VC en adelante). En este trabajo se analizan ambos métodos para valorar la molestia del ruido aeroportuario militar y su repercusión en los precios de las viviendas próximas a la BA de Gando, en un contexto de gran activismo social de la población afectada por la superación de los límites acústicos legalmente establecidos debido a la creciente actividad de la aviación civil en la zona, agravado por las variaciones del mercado inmobiliario como consecuencia de la crisis económica española, el condicionamiento provocado por la configuración de las pistas y la variabilidad de los vuelos militares en tiempo y lugar.

Con relación a otras externalidades ambientales, el número de trabajos nacionales o internacionales que se basen en la valoración de la contaminación acústica en aeropuertos y su repercusión en el mercado de la vivienda es relativamente escaso; y más aún, el emitido por la actividad aeroportuaria militar. Una de las razones de tan paupérrima producción en este campo, es la complejidad en la estimación de beneficios para los usuarios y de los costes ambientales, agudizado cuando hablamos de bienes públicos puros.

En lo que sigue, se presenta una propuesta de valoración de esta externalidad ambiental, lo que implica incluir en el análisis efectos de compleja medición y valoración. En este análisis, todos los impactos se miden finalmente en unidades monetarias actualizadas a 2012. Además, se requiere la utilización de métodos de valoración específicos para asignar un valor monetario a aquellos bienes que no tienen un precio de mercado. Para la realización del presente trabajo se ha utilizado el *Mapa Estratégico de Ruido* elaborado durante el año 2005 con los datos facilitados por el Estado Mayor del Aire y la propia BA. Asimismo, se ha consultado y analizado el informe elaborado al respecto por el *Instituto Nacional de Técnicas Aeroespaciales Esteban Terradas* (INTA). La cartografía empleada ha sido facilitada por el *Centro de Cartografía y Fotogrametría del EA* (CECAF) ubicado en Cuatro Vientos, Madrid. Complementariamente, se ha utilizado la Sede Electrónica de la Dirección General del Catastro (SEC en adelante) para conocer las distintas superficies construidas y nivel de conservación de las viviendas afectadas en la zona de estudio.

la publicación del *Libro Verde* sobre la política futura de la lucha contra el ruido (COM/96/540), la Comisión Europea creó una red de expertos que promulgaron la directiva europea del ruido, y que vienen desarrollando diversos programas de investigación sobre sus costes como UNITE (Nash, 2003) o HEATCO (Bickel *et al.*, 2006), entre otros.

En lo referente a los datos económicos, la información relativa a la BA fue obtenida de los diferentes negociados de la *Sección Económica Administrativa 14* (SEA en adelante) del *Mando Aéreo de Canarias* (MACAN en adelante) y en lo referente al precio de mercado de las viviendas de la muestra utilizada, se recopiló información de distintas webs inmobiliarias (segundaman.com, fotocasa.es, elidealista.es, entre otras) y de empresas de tasación. También, se han empleado los datos recopilados de la *Memoria de los Mapas de Ruidos de los Grandes Aeropuertos Españoles*, elaborado por el *Ente Público Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea* (AENA en adelante) para el aeropuerto civil de Gran Canaria, el cuál comparte las pistas de vuelo con las instalaciones militares.

Se recurrió a los resultados de varios estudios relevantes en la valoración del ruido, ideados en los últimos cuarenta años por diversos autores, con especial consideración en las conclusiones obtenidas por la *Commission on The Third London Airport y Roskill, E.* (1971), para el cálculo de la depreciación en el mercado inmobiliario de la zona; el estudio de Rosen (1974) donde desarrolla un modelo general para la oferta y demanda de bienes heterogéneos como es la vivienda; así como un estudio contrastado de la *Orange County Health Department* (1972) de EEUU sobre las reacciones de la población al ruido en función de los decibelios percibidos recogido en Randall (2001). En dichos estudios se utilizaron una serie de tablas y datos muy clarificadoras y comprensibles, factibles para ser extrapolables al aeropuerto de Gran Canaria, y por ende, a la BA de Gando, por las similitudes de ambos aeropuertos, salvando la diferencia en el volumen de viviendas afectas, que en las proximidades de las BA, es mucho menor. Y por último, para las pruebas econométricas de los distintos modelos de funciones hedónicas tratadas en este estudio, se empleó el programa informático GRELT⁷.

Desde el punto de vista empírico, la limitación principal que se nos revela es la medición de la variable ambiental y la elección de su unidad de medida. El *Mapa Estratégico de Ruido* se realizó para el escenario 2005 debido a la necesidad de disponer de datos completos anuales para efectuar el análisis de las variables descritas. Las fuentes consideradas de cara a la modelización informática, corresponden únicamente a las operaciones de aterrizaje y despegue de aeronaves militares con origen o destino en la BA de Gando. El citado procedimiento no aplica al

⁷ Acrónimo de Gnu Regression, Econometric and Time Series, elaborado por Allin Cottrell (Universidad Wake Forest).

ruido generado por helicópteros, motivo por el cual no se consideran las operaciones originadas por este tipo de tráfico.

La tesis que aquí se presenta tiene como objetivo general el análisis de los efectos económicos sobre las viviendas urbanas originados por el impacto ambiental de la contaminación acústica de las aeronaves militares que operan en la BA de Gando, utilizando la metodología de los PH, limitando nuestro estudio, inicialmente, a un espacio geográfico concreto que abarca a cuatro municipios de la isla de Gran Canaria, a saber: Santa Lucía de Tirajana, Telde, Agüimes e Ingenio. De manera más específica se analizan variables o aspectos relevantes utilizados en la determinación de los precios de las viviendas urbanas en diversos estudios nacionales e internacionales; establecemos los niveles de contaminación acústica utilizando un *Mapa Estratégico de Ruido*; se sintetizan los datos obtenidos y se realiza una primera aproximación teórica teniendo en cuenta únicamente la variable ambiental *contaminación acústica*. Posteriormente, se construyó el modelo econométrico que mejor se adaptó, incluyendo todas las variables previamente seleccionadas y validadas, con especial atención a las variables ambientales *contaminación acústica*. En otras palabras, este estudio busca determinar la influencia que tiene la variable ambiental ruido en el precio de venta de mercado de las viviendas en la zona afectada, ayudándonos para tal fin de las herramientas econométricas y la observación, aprovechando la metodología de PH. En definitiva, la presente investigación plantea la hipótesis nula *“no existen efectos de la contaminación acústica de las aeronaves militares sobre el precio de venta de las viviendas en la zona de estudio”*. Para poder cumplir con estos objetivos, el estudio se ha estructurado de la siguiente manera:

1. Exposición del objeto de estudio; antecedentes en medidas de gestión medioambiental emprendidas por el MINISDEF en la BA de Gando; una breve reseña histórica sobre la misma; y un desarrollo de los principales conceptos referentes al sonido y al ruido.
2. Recapitulación de la información disponible relativa al ruido ambiental y normativa vigente en el área de estudio.
3. Conceptualización de términos físicos sobre el ruido y sus principales aspectos psicológicos referente a las molestias percibidas y su ponderación,

así como un primer acercamiento a la evaluación del ruido aeroportuario militar y de los descriptores e índices de ruido empleados.

4. Medidas e inversiones realizadas tanto por la BA de Gando como por AENA en aislamiento acústico en las viviendas limítrofes al aeropuerto hasta finales del año 2012.
5. Aproximación analítica sobre los diferentes estudios nacionales e internacionales realizados acerca de la valoración económica del ruido aeroportuario, en los que se utilizaban distintos métodos e índices de valoración con respecto al mercado inmobiliario, poniendo especial énfasis en los PH y la VC.
6. Desarrollo de la metodología seguida para la evaluación de los niveles sonoros mediante una descripción de los modelos empleados y los escenarios de simulación representados, haciendo una descripción del proceso de obtención del *Mapa Estratégico de Ruido* para el escenario 2005 en la BA de Gando, destacando la zona de estudio en la que se analizan las características principales de las infraestructuras y el entorno territorial en el que se enclava desde el punto de vista demográfico y de usos del suelo; localización de los parámetros de entrada; y exposición de los valores objeto de estudio.
7. Análisis del mercado de la vivienda en la zona y las funciones econométricas en general, y exposición de la teoría publicada hasta la fecha más relevante sobre funciones hedónicas.
8. Obtención de una muestra de 175 viviendas de la zona de estudio durante el año 2012 y, selección, clasificación y justificación de las variables explicativas seleccionadas.
9. Interpretación de los resultados alcanzados y delimitación de las zonas de conflicto en las que se superan los objetivos de calidad acústica propuestos y que afectan al valor de las viviendas residenciales de la zona.
10. Planteamiento y construcción del modelo econométrico más adecuado y que mejor explique la problemática objeto de estudio a través de PH una vez estimado y validado, resaltando la variable hedónica *contaminación*

acústica, dando como resultado una forma funcional semilogarítmica con catorce regresores y la endógena en logaritmo.

11. Para finalizar, se lleva a cabo una aplicación del modelo en unidades monetarias para el año 2012, se extraen las conclusiones y se proponen una serie de recomendaciones para estudios futuros.

En definitiva, el estudio que aquí se expone contiene como novedad el analizar en qué medida la percepción social de una externalidad ambiental negativa, la contaminación acústica de las aeronaves militares, repercute en la valoración económica del mismo y, en aportar una aproximación a la valoración monetaria en el precio de las viviendas colindantes afectadas en el año 2012, utilizando los PH, la econometría y el estudio de campo, que se genera cuando se presta un servicio de defensa nacional, caracterizado por ser un bien público puro, que el EA realiza a través de las aeronaves supersónicas destinadas en la BA de Gando (Gran Canaria), analizando las diversas alternativas y estudios existentes. Además de los impactos generales, se producirá otros costes ambientales debido a la ocupación de áreas declaradas como *Lugares de Interés de Conservación y Zonas Especiales de Conservación*⁸ por la Unión Europea (UE en adelante) y la contaminación atmosférica, entre otros, que no serán tratados en este estudio, pero que sí podrían ser una línea de estudio para desarrollos futuros. Matizar que los aeropuertos militares suelen conllevar importantes impactos indirectos positivos no ambientales, tales como la creación de puestos de trabajo, contratación de proveedores alimenticios y de otra índole o, el impulso, en general, a la actividad económica de la región, si bien estos impactos indirectos tampoco se incluyen en este estudio. Se detallan los procedimientos metodológicos empleados y se muestran los resultados.

⁸ Términos recogidos en la *Red Natura 2000* creada por la Directiva 92/43/CEE sobre la conservación de los hábitats naturales de fauna y flora silvestres, de 21 de mayo de 1992.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA Y AMBIENTAL

La BA de Gando, perteneciente al MACAN, se encuentra situada en la costa este de la isla de Gran Canaria, entre los 27-29º latitud Norte y los 13-18º longitud Oeste, abarcando parte de los municipios de Telde e Ingenio y a 18 kilómetros de la capital de la isla, Las Palmas de Gran Canaria. Está enclavado en un entorno fuertemente transformado por la actividad del hombre en los sectores situados al oeste y sur del mismo, como consecuencia de la elevada densidad poblacional y de las infraestructuras existentes. En el interior de la BA existe un elevado número de infraestructuras (hangares, edificaciones, instalaciones deportivas y dos pistas de vuelo), con la salvedad de la península de Gando, relativamente intacta. Alcanza un perímetro de unos 18.900 metros y una superficie de unas 360 hectáreas. Está dotada y capacitada para operar ininterrumpidamente durante largos períodos de tiempo, así como para acoger un elevado número de aviones y personal ante un despliegue inmediato.

Desde el siglo XIV, la Bahía de Gando destacó por su importancia como lugar de tránsito, recalada, base logística y puerto comercial de conquistadores, navegantes y, posteriormente, pioneros de la aviación, ansiosos de batir records de velocidad, distancia y sobre todo, de crear rutas aéreas que uniesen Europa con América. Frente a sus costas acontecieron numerosas gestas marítimas y aeronáuticas; siendo punto de recalada de conquistadores, piratas y corsarios. Los normandos *Jean de Bethencourt* y *Gadifer de la Salle* en 1402 (Abreu, 1977) desembarcan en la Bahía de Gando con una expedición franco-normanda y entablaron relaciones amistosas con los canarios para, en una segunda oportunidad, intentar una entrada armada, que fue rechazada ante una tenaz resistencia que mostró la población de esa zona de la isla. Sesenta años después, *Diego de Herrera* intentará también la conquista de la isla desembarcando por Gando, pero la captura de su socio, *Diego de Silva* en Gáldar y la imposibilidad del primero en romper la resistencia armada de los aborígenes canarios, hacen fracasar el intento. Posteriormente, *Diego de Herrera* establecerá una torre en Gando desde la cual saquear las tierras de los canarios, pero éstos, con *Doramas* y otros famosos guerreros al frente, tomarán la torre que será demolida.

En 1492 las naves de *Colón* arribaron en su bahía para reparar la carabela *La Pinta* en su primer viaje hacia el descubrimiento del Nuevo Mundo. En 1924, sobre estas desérticas tierras de origen volcánico, pendientes suaves y azotadas por los vientos

alisios, en el entonces páramo de Gando, se presencié el primer aterrizaje protagonizado por tres aviones Breguet XIV. El 26 de enero de 1926, el hidroavión Plus Ultra, pilotado por el Comandante *Ramón Franco*⁹, amerizó en su bahía para iniciar la segunda etapa de su histórico vuelo, Palos de la Frontera-Buenos Aires. Finalmente, en abril de 1930 se creó el aeropuerto civil a través de una Real Orden, conocido como Aeropuerto Nacional de Gando, y posteriormente, renombrado como Aeropuerto de Gran Canaria, y diez años después la actual BA cuya torre de control y otras infraestructuras que aún comparten el EA y AENA.

Tras las óptimas condiciones meteorológicas que hacían de la península de Gando uno de los lugares más seguros para la creación de una BA, se escondía un factor ambiental adverso: la arena volcánica que formaba la península, ricas en partículas ferro magnéticas, que los vientos alisios arrastraba, junto con la acción del salitre marino, los cuales tenían un alto poder corrosivo sobre los aviones, vehículos, edificios, hangares y todo aquello que estuviese a la intemperie. El EA y los técnicos del entonces *Instituto para la Conservación de la Naturaleza* (ICONA), actual *Ministerio de Medio Ambiente* (Ministerio de Defensa, 2007), llegaron a la conclusión de que, incrementando la cobertura vegetal de la zona conseguirían paliar la acción corrosiva con un bajo impacto ambiental. Basándose en las primeras experiencias de los años cuarenta del pasado siglo, que el aeropuerto civil desarrolló bajo el impulso, de su por entonces director, D. *Pedro González García*, los técnicos del EA y del ICONA decidieron instalar una barrera vegetal.

Pero antes había que determinar cuáles serían las especies capaces de adaptarse a los niveles de salinidad de los suelos de Gando, al tiempo que sería necesario desarrollar un sistema de riego en aquellas zonas destinadas a la repoblación, ya que la pluviosidad resulta casi inexistente. Se optó entonces por cuatro especies autóctonas: el taraje (*tamarix canariensis*), la siempreviva de mar (*limonium pectinatum*), los pinos marinos (*casuarina australiana* o *causarina stricta*) y el *limoniastrum*, un arbusto bajo que complementaba en forma de tapiz y pantalla, la cobertura vegetal. Paralelamente, la BA inició la reproducción de estas especies en su vivero y, un proceso de ajardinamiento basado en la plantación de especies endémicas como *lotus macrocarpa* y *verdeloti*, *tamarix canariensis*, palmeras canarias (*phoenix canariensis*) y, diversas especies de ficus, cactus y plantas crasas.

⁹ <http://www.ejercitodelaire.mde.es/ea/pag?idDoc=632805E3858C970DC12570DD0042620A&idRef=6559EFB1000173ACC12574590025E600>.

En la actualidad, nos podemos encontrar con una gran variedad de aves marinas que sobrevuelan o nidifican en Gando, favorecidas por las plantaciones, como la pardela cenicienta (*calonectris diomedea borealis*), charrán común y patinegro (*sterna hirundo y sandvicensis*), chortilejo chico (*charadrius dubius*), gavilán común (*accipiter nisus granti*), cernícalo común (*falco tinnunculus canariensis*), alcaraván (*burhinus oedicephalus distinctus*), abubilla (*upupa epops*) y bisbita caminero (*anthus berthelotii*), todas ellas catalogadas como de interés especial por el *Catálogo Nacional de Especies Amenazadas* (CNEA en adelante), y la terrera marismeña (*calandrella rufescens polatzeki*), catalogado como vulnerable. Resaltar que también ha aumentado la fauna terrestre, destacando ciertos invertebrados como la *pimelia granulicollis*, en peligro de extinción¹⁰, reptiles como el perenquén de Boettger (*tarentola boettgeri*), un endemismo macaronésico común en la zona, y el lagarto de Gran Canaria (*gallotia stehlini*), especie endémica y de interés especial¹¹. Al mismo tiempo, la riqueza natural de sus aguas se ha beneficiado al no tener que soportar ninguna actividad pesquera, donde pueden encontrarse gran cantidad de fauna acuática como lisas amarillas, seifas, sargos, besugos, brecas, doradas, peje verdes, tamboriles, la tortuga verde divagante, entre otros. Esta misma riqueza se concentra en el área protegida del *Roque*¹², una reserva natural, testigo geológico del retroceso de la línea de costa.

El *Lazareto*¹³, ubicado en la BA y que alberga una capilla interior, es la obra maestra del ingeniero D. *Juan de León y Castillo*, el mejor modelo de arquitectura sanitaria en su género de España, enmarcado en un cuadrilátero amurallado para paliar los efectos y evitar la propagación de las graves epidemias que asolaban las islas y, atender a los barcos que, procedentes de América y África, desembarcaban en puertos canarios, a finales del siglo XIX y comienzos del XX. Sus instalaciones han servido para alojar al personal, talleres, almacenes y avanzados sistemas de comunicación. Una de las joyas, que encierra la base, desconocido para el público en general, es el aljibe construido en 1893 para el *Lazareto* y que se conserva intacto. Es uno de los más grandes de la Isla, dividido en dos compartimentos de 2.200 m³ cada uno. En esta artesanal infraestructura se deposita el agua producida por las dos desaladoras, de 1.000 y 500 m³ diarios, que suministran toda el agua necesaria para

¹⁰ Decreto 151/2001, de 23 de julio por el que se crea el CNEA.

¹¹ Real Decreto 439/1990, de 30 de marzo por el que se regula el CNEA.

¹² Catalogado como *Sitio de Interés Científico*, Ley 12/1994, de interés científico, nacional y área de sensibilidad ecológica.

¹³ Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico del Cabildo de Gran Canaria (2002). *Boletín de Patrimonio Histórico*, (1), 12.

el consumo propio. La BA es autosuficiente en energía, gestión del agua, residuos y en el acopio de diferentes suministros para garantizar su operatividad en caso de desabastecimiento. Asimismo, cuenta con una depuradora para el tratamiento de aguas residuales, que proporciona el agua de riego. Además, cuenta con su propio punto limpio donde se tratan hasta 30 carburantes distintos.

La actual *Torre de Gando*¹⁴ data de 1740, construida como fuerte militar por orden del Capitán General de Canarias, Mariscal *D. Andrés Bonito de Pignatelli*, obra de los ingenieros *De la Riviere* y *De la Pierre*. Hizo funciones de defensa en la bahía de Gando frente a ataques británicos y de corsarios y, podía albergar hasta 30 efectivos en caso de guerra. Cuando perdió su utilidad como fortificación a finales del siglo XIX, fue utilizada para ubicar una antena de radio de la aerolínea Lufthansa, luego, por los pescadores del lugar para guardar sus aparejos y, por último, por la *Comandancia Marítima de Las Palmas*. En 1940, Gando se convierte en base permanente de una de las primeras escuadrillas del EA que la utilizaron como polvorín. En Marzo de 1982, coincidiendo con la incorporación de los primeros aviones Mirage F-1, es inaugurada como *Museo Aeronáutico del MACAN*. Hoy alberga en su interior vitrinas con maquetas de aviones, restos arqueológicos, fotografías, cuadros, libros, estandartes, etc., relacionados con la aeronáutica de Canarias.

El lema *Arena, Mar y Viento* de esta unidad refleja con claridad los efectos negativos de la corrosión y la erosión a los que se enfrentan aeronaves e instalaciones en Gando, causante de importantes inversiones para mitigar dichos perjuicios. En Diciembre del año 2000 se inició un SGA, de acuerdo con los principios de la Norma UNE-EN ISO 14001, con el objetivo de lograr un comportamiento medioambiental basado en el concepto de desarrollo sostenible. Entre las actuaciones llevadas a cabo, destacaron la mejora de la masa forestal de amplios sectores de la zona norte de la BA, alcanzando el 90% de las hectáreas, consiguiendo disminuir un 80% el nivel inicial de corrosión, que unido a la reconstrucción de extensas plataformas de vegetación en la zona central, arrojaron resultados altamente positivos y por ello, entre los años 2001 y 2002, y tras una última gran inversión del ICONA y del MINISDEF, la masa forestal ha sido incrementada de 25 a 65 hectáreas repobladas, el 20% de la superficie total de la BA, con especies capaces de adaptarse a los niveles de salinidad de los suelos de la zona y de fijar la arena barrida por el viento, reduciendo la erosión de forma muy notable.

¹⁴ <http://www.ejercitodelaire.mde.es/ea/pag?idDoc=632805E3858C970DC12570DD0042620A&idRef=6559EFB1000173ACC12574590025E600>.

Tabla 1. Protección del medio y mantenimiento de zonas verdes y ajardinadas de la BA de Gando

MEDIDAS ADOPTADAS	INVERSIÓN (€)		APLICACIÓN PRESUPUESTARIA
	2010	2011	
Repoblaciones	11.076,76	32.502,39	14 022 122N 2 212
Tratamiento de plagas	8.725,41	8.725,41	14 022 122M 1 227 99
Prevención y control de la legionela	32.703,00	39.392,81	14 022 122N 2 212
Conservación masa forestal	161.844,99	161.844,99	14 022 122M 1 227 00
TOTAL	214.350,16	242.465,60	

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Negociado de Contratación de la SEA 014 del MACAN, obtenidos del SIGEA (Sistema Informático de Gestión del Ejército del Aire) y, del Negociado de Medio Ambiente de la BA de Gando. Datos no publicados.

Por último, resaltar que la superficie de terreno separada para la flora y la fauna dentro del recinto militar a la fecha de realización de este estudio, es de 255.267,36 m² de masa forestal y de 11.865,08 m² de zonas ajardinadas¹⁵.

¹⁵ Base de datos del Negociado de Medio Ambiente de la BA de Gando y de la empresa pública Sociedad Estatal de Participaciones Industriales (TRAGSA).

1.2.2. SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL EN LAS BA ESPAÑOLAS

La implementación de un SGA en las instalaciones militares constituye un medio fundamental para alcanzar satisfactoriamente los objetivos generales, recogidos en el *Plan General de Medio Ambiente*, aportar una herramienta adecuada para analizar y conocer la situación medioambiental de las instalaciones y propiedades del MINISDEF, así como la validez de los métodos y procedimientos empleados para alcanzar los propósitos de la *Política Medioambiental de la Defensa* (Ministerio de Defensa, 2006). Gracias al esfuerzo de los últimos decenios en su implantación, España se sitúa a la cabeza de la UE con cerca de 200 instalaciones militares con un SGA, de los que más de un centenar están certificados por un organismo acreditado independiente, y lo que se pretende es que se alcance la totalidad de todos los establecimientos de cierta entidad del MINISDEF.

El MINISDEF administra y preserva un destacable patrimonio natural ya que el 25,86%¹⁶ de su territorio se encuentra incluido en la *Red Natura 2000*, a la que pertenece la BA de Gando, red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad, siendo este nivel de biodiversidad incluso más alto en instalaciones militares que en otras civiles. El importante patrimonio natural que suponen los territorios adscritos al mismo como los campos de maniobras y tiro o los centros de adiestramiento, constituyen lugares de alto valor ecológico y paisajístico, además de importantes sumideros de CO². Internacionalmente, el *Comité de Desafíos de la Sociedad Moderna de la Organización del Tratado del Atlántico Norte* (OTAN en adelante) propuso en la década de los noventa la creación de un estudio piloto para tratar de incorporar los SGA a las FFAA que contó con la participación inicial de quince países, entre ellos España. De manera pionera, la Dirección General de Infraestructuras del MINISDEF inició la implantación de tres SGA, concretamente, a través de una norma aceptada internacionalmente y certificada por un organismo independiente, la UNE-EN ISO 14001, en el campo de adiestramiento de la Sierra del Retín (Armada), el campo de maniobras y tiro del Palancar (Ejército de Tierra) y la BA de Getafe (EA). Posteriormente, en diciembre del año 2000, se emprendió en la BA de Gando, de acuerdo con los principios de dicha norma.

¹⁶ BOE número 236 de 30 de septiembre de 2011 por el Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el *Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017*, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Tabla 2. Mantenimiento y optimización de instalaciones. Plan de descontaminación de suelos, tratamientos de vertidos, almacenamiento y gestión de residuos urbanos

MEDIDAS ADOPTADAS	INVERSIÓN (€)		APLICACIÓN PRESUPUESTARIA
	2010	2011	
Mantenimiento planta depuradora, potabilizadora y red de alcantarillado	481.530,18	482.187,42	14 022 122N 2 212
Mantenimiento y mejora del tendido eléctrico	101.794,65	79.025,69	14 022 122N 2 212
Mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo de la red de abastecimiento e instalaciones de fontanería	36.000,00	35.506,08	14 022 122N 2 212
Pruebas de estanqueidad de tanques y tuberías de instalaciones petrolíferas	0,00	7.875,00	14 022 122N 2 212
Reforma de las instalaciones de fontanería del Anexo de Suboficiales	0,00	39.898,00	14 022 122N 2 212
Reforma e instalación de agua potable en el Grupo de Alerta y Control	0,00	24.772,66	14 022 122N 2 212
Reparación suelos, juntas y sellado de zonas	468.088,98	140.000,00	14 022 122N 2 212
Eliminación de fosas sépticas y conexión al alcantarillado	0,00	190.994,86	14 022 122N 2 212
Gestión de residuos y punto limpio. Servicio de recogida de basuras, papel y cartón	48.702,60	57.900,74	14 022 122N 2 212
Adquisición de contenedores	4.628,68	4.628,68	14 022 122N 1 660
TOTAL	1.140.745,09	1.062.789,13	

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Negociado de Contratación de la SEA 014 del MACAN, obtenidos del SIGEA (Sistema Informático de Gestión del Ejército del Aire) y, del Negociado de Medio Ambiente de la BA de Gando. Datos no publicados.

El Manual del SGA de la BA de Gando, clave para estructurar todos los elementos que constituyen el SGA, tiene por objeto establecer y proporcionar una base documental que referencia los elementos principales del SGA en la BA, según los requisitos elegidos por la Norma UNE-EN ISO 14001, las relaciones entre dichos requisitos y las responsabilidades fundamentales para su implementación y mantenimiento. Además, está dirigido a todas las instalaciones de la BA, resultando de aplicación a todas las operaciones y actividades desarrolladas en ella. Implica a cualquier parte interesada en la gestión ambiental de la misma, tanto civil como militar, especialmente a los relacionados con actividades de operaciones aéreas de aviones de caza y ataque, de transporte y salvamento, el mantenimiento de aeronaves y vehículos, servicios de combustibles, contra incendios, sanidad y demás actividades.

Por último, son diversas las actuaciones orientadas a minimizar el impacto acústico de sus actividades sobre las personas y el medio ambiente, a pesar de que la normativa vigente en la materia excluye de su ámbito de aplicación a las actividades militares. El *Laboratorio de Ingenieros del Ejército*, organismo dependiente de la *Dirección General de Infraestructura* del MINISDEF, fue encargado en el año 2005, de la realización de Mapas de Ruido de diferentes BA y Aeródromos Militares del EA entre las que se encontró la BA de Gando. El motivo fue el compromiso que en aquel año, el MINISDEF adquirió en comparecencia en el *Congreso de los Diputados* el día 19 de octubre, a raíz de una interpelación parlamentaria.

1.2.3. EL RUIDO Y EL SONIDO

El ruido y el sonido son, bajo un concepto físico, dos formas de identificar el mismo fenómeno: la variación de la presión del aire respecto del valor medio de la presión atmosférica. En cualquiera de los dos casos, la variación de presión se mide en pascuales (Pa) y, a través del oído y la cadena auditiva, las personas somos capaces de percibir presiones desde 10 a 10² Pa, un gran margen (Berglund *et al.*, 1999). Según Regecove y Kellerova (1995), se denomina ruido a un sonido no articulado, que en función de factores como su intensidad y frecuencia, puede causar diversas molestias y en algunos casos, afectaciones a la salud. Debido a esto y a que el oído humano responde a las variaciones de esta presión de forma cuasi logarítmica, se estableció una unidad de medida acorde con la respuesta que tiene el oído humano a estas vibraciones, el Bel o Belio (B), en honor a *Alexander Graham Bell* que se define como el logaritmo decimal de la relación de la intensidad de un sonido o ruido respecto de la intensidad de referencia (Harris, 1995). La unidad que más comúnmente se emplea es un submúltiplo, el decibelio (dB en adelante). Así, se ha establecido que el umbral de audición oscila entre 0 dB, correspondiente a una presión de 20 micro pascuales, y 140 dB, por encima del cual se percibe dolor.

Hay otra característica del sonido o ruido, la frecuencia, que se define como el número de veces por unidad de tiempo, normalmente el segundo, que un sonido alcanza una determinada presión, con el hertzio (Hz) como unidad. El oído humano es capaz de percibir sonidos con frecuencias comprendidas entre 20 y 20.000 Hz. Debemos destacar que la sensibilidad del oído es diferente para cada frecuencia, siendo más sensible entre los 1.000 y 3.000 Hz, y menos para el resto de frecuencias.

Con objeto de poder evaluar esta variación de sensibilidad, a los valores lineales que pueden medirse con un micrófono, se les afecta de una corrección mediante unas escalas denominadas "A" y "C", dando lugar a valores de niveles de presión acústica denominados dB(A) para ruidos permanentes o transitorios, y dB(C) que suele utilizarse para ruidos impulsivos. El oído humano tiene la capacidad de tolerar cierta intensidad de ruidos sin llegar a ser lesionado (Marquis-Favre *et al.*, 2005b). Entre 60 y 65 dB(A) se establece el umbral del ruido diurno que comienza a ser molesto; si éstos sobrepasan los niveles aceptables, establecidos por la *Organización Mundial de la Salud* (OMS en adelante), provocan daños en el órgano de la audición. En un medio urbano, los niveles registrados frecuentemente de ruido están en torno a 50-60 dB durante el día y de 40 dB durante las horas nocturnas (Nelson, 2004).

Las cifras medias de las legislaciones europeas y americanas marcan como límite aceptable 65 dB(A)¹⁷ durante el día y 55 dB(A) durante la noche. En relación a un estudio, aproximadamente el 12% de la población encuestada, experimenta una alta molestia ante valores superiores a 65 dB(A), y de 55 a 65 dB(A) se considera una molestia moderada (Frankel, 1988). La capacidad auditiva se deteriora en la banda comprendida entre 75 y 125 dB(A) y, pasa a ser nivel doloroso cuando se sobrepasan los 120 dB(A), llegando al umbral de dolor y daños irreversibles a los 140 dB(A). Por ejemplo, el despegue de un avión emite 120 dB(A) a una distancia de 70 metros. Algunos estudiosos especulan que el ruido no puede ser considerado un problema de salud importante, argumentando que las personas se adaptan a esa externalidad, sin embargo, esto es un mito (Stone *et al.*, 1972). En la Tabla 3 se proporcionan valores límites recomendados por la OMS.

Tabla 3. Límites y efecto a evitar o situación en la que se aplica según la OMS

LÍMITE	EFECTO A EVITAR O SITUACIÓN EN LA QUE SE APLICA
100-130 dB(A)	Incomodidad auditiva
130-140 dB(A)	Riesgo de daño físico (por ejemplo, perforación del tímpano)
130 dB(A)	Dolor agudo
70 dB(A) L_{eq24}	Daño auditivo despreciable
30 dB(A) L_{eq}	Excelente inteligibilidad
45 dB(A) L_{eq}	Inteligibilidad completa
40-55 dB(A) L_{eq}	Inteligibilidad razonablemente buena
100 dB(A) $L_{eq,4}$	Conciertos, ceremonias y festivales
90 dB(A) $L_{eq,4}$	Discotecas
140 dB peak	Sonidos impulsivos
ASPL<80 dB(A)	Juguetes, en el oído del niño
CSPL<130 dB(C)	Juguetes, en el oído del niño
30 dB(A) L_{eq}	Ruido interior
40-45 dB(A) $L_{máx}$ (fast)	Eventos ruidosos aislados al dormir
45 dB(A) L_{eq}	Ruido externo al dormir (ventanas abiertas, reducción de 15 dB)
35 dB(A) L_{eq}	Salas de hospital, interferencia con el descanso y la recuperación
45 dB(A) $L_{máx}$ (fast)	Eventos ruidosos aislados, salas de hospital
50-55 dB(A) L_{eq}	Exteriores zonas de viviendas de día y atardecer (molestia seria)
40-50 dB(A) L_{eq}	Exteriores de noche (molestia moderada)
55 dB(A) L_{eq}	Patios de recreo escolar e interiores, molestia (fuentes externas)

Fuente: Berglund *et al.* (1999). *Guidelines for Community Noise*. Documento WHO, Geneva (pp. 7-79).

¹⁷ La *Federal Aviation Administration* de EEUU, identifica 65 dB(A) como umbral límite para el ruido aeroportuario. A nivel europeo, el *European Group Working on Health and Social Economic Aspects* (2003) de la Comisión Europea, recomienda no sobrepasar valores de 50-55 dB.

Donde:

L_{eq} , nivel equivalente durante la medición.

L_{eq24} y L_{eq4} , nivel equivalente durante 24 horas y 4 horas respectivamente.

L_{eqA} y L_{eqC} , nivel equivalente con ponderación frecuencial "A" y "C" respectivamente.

$L_{m\acute{a}x}$, máximo nivel con una respuesta dada (rápida, lenta o impulsiva).

Peak, máximo nivel instantáneo.

Fast, respuesta con una constante de tiempo de 0,125 segundos.

Desde hace varias décadas existen estudios psicológicos, médicos, sociales y económicos sobre el comportamiento de las personas ante el ruido y sus efectos. Un estudio de 1993 del aeropuerto internacional de Los Ángeles indicó que las enfermedades cardiovasculares aumentaron un 18% y las muertes accidentales un 60%, para las personas que soportaban más de 75 dB(A) (Meecham y Shaw, 1993). Los suicidios se duplicaron para la población que recibía entre 45 y 54 dB(A). Un estudio británico del *Springfield Mental Hospital* muestra que las admisiones por cada 1.000 personas por vivir cerca del aeropuerto de Heathrow (Londres), son significativamente más altos que los de una población de fuera de ese área.

El ruido aeroportuario puede causar perturbaciones del sueño, estrés fisiológico, deterioro de la audición, interferencias con el habla y las comunicaciones, y angustia psicológica. Además, el ruido excesivo constituye una molestia en el mejor de los casos y un peligro para la salud, en el peor (Stone *et al.*, 1972). La mayor parte de los estudios engloban a estos efectos en una palabra, *molestia* o *gran molestia*. El problema planteado consiste en valorar numéricamente esa molestia y relacionarla con el ruido producido por la fuente. Existen muchas formas de realizar esta concatenación ruido/molestia, una de ellas son los denominados *índices de ruido* o *indicadores de ruido* o *métricas de ruido*. Durante el siglo pasado y parte de éste, los países han adoptado varios de estos índices y los han relacionado con las molestias producidas a las personas mediante estudios más o menos exhaustivos.

Entre los compromisos internacionales alcanzados hasta la fecha, destaca la resolución adoptada en la 33^a *Asamblea de la Organización de Aviación Civil Internacional* (OACI en adelante) de 7 de octubre del 2001, y ratificado mediante resolución sancionada en la 36^a Asamblea de 2 de septiembre del 2007. De acuerdo a

sus conclusiones, se introdujo el concepto de *enfoque equilibrado* como instrumento de acción para identificar, describir y valorar el problema acústico existente en un determinado aeropuerto para, posteriormente, aplicar las medidas necesarias en reducir los niveles acústicos de molestia, con el fin de conseguir una homogeneidad en las políticas de acción. Con todo ello, se obtendría un análisis coste/beneficio de manera que se puedan evaluar las repercusiones que su implantación puedan tener sobre todos los agentes implicados.

1.3. EXPOSICIÓN DE RESULTADOS DEL ESTUDIO

La evaluación del impacto de las externalidades ambientales se ha convertido en una medida imprescindible en la toma de decisiones económicas y, concretamente, urbanísticas. Este trabajo tiene como objetivo, centrarse en la valoración de la contaminación acústica emitida por las aeronaves militares, los F27 y los F18, destinados en la BA de Gando en el año 2012, mediante el análisis de varios métodos de valoración, aplicando en esencia, los PH a través de una función econométrica, estudio de campo e índices de medición del nivel de ruido, analizando su repercusión en el mercado inmobiliario y en la población de las localidades colindantes, así como resaltando las medidas tomadas para mitigarla.

En este estudio se analizaron los factores determinantes del precio de las viviendas en una zona concreta de la Isla de Gran Canaria, que abarcaba los municipios de Ingenio, Agüimes y Telde, y que se veían afectadas por distintos niveles de contaminación acústica debido a la actividad de las aeronaves militares. Para ello, empleamos en una primera parte, un análisis teórico de la situación en la que se observaba que, no teniendo en cuenta ningún otro factor o atributo que pudiese ir acompañando al precio de la vivienda, se concluyó que la contaminación acústica aeromilitar afectaba negativamente en el precio de la vivienda de la zona, en función de, a mayor dB de afectación, mayor disminución del precio de la vivienda. En una segunda parte del estudio, decidimos emplear la regresión hedónica, ya que la vivienda residencial es un tipo de bien cuyo precio se construye a partir de una serie de atributos muy heterogéneos, y no sólo por la contaminación acústica que recibe. Asimismo, se obtuvieron una serie de estimaciones de varios atributos o características por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO en adelante) para una función de PH con forma semilogarítmica.

El resultado fue contradictorio con la primera parte del trabajo, pero consecuente con los resultados de otros estudios que arrojaban la misma conclusión: a mayor nivel de dB percibidos, mayor valor tiene la vivienda en los municipios de estudio. Este resultado lo debemos asumir como que, al incluir otros regresores al estudio del precio de la vivienda, la lógica y los resultados empíricos, nos lleva a pensar que el estudio aislado de la variable contaminación acústica, como único factor relevante para nuestra endógena, el precio de venta de una vivienda de renta libre en euros con más de dos años de antigüedad y limitada geográficamente entre los municipios de Telde, Ingenio y Agüimes; no es concluyente, y que sí, tenemos que añadir otras variables

explicativas que influyen significativamente en el precio de la vivienda en la zona y, aún más, repercuten en una variación del efecto del atributo contaminación acústica, como quedó demostrado. A medida que introducimos más variables o atributos, la contaminación acústica pasa de ser perjudicial, según los datos obtenidos en nuestro estudio, a ser un factor positivo en el precio de la vivienda de la muestra en la zona de estudio. La explicación más plausible para estos datos en los que, si sufren altos índices de dB, el valor de la vivienda aumenta, es debido a que son los inmuebles más lujosos, los más cercanos al aeropuerto, además de tener grandes zonas verdes y buenos accesos de comunicación, así como la disposición asidua de transporte público.

En este sentido, se conformó un ajuste adecuado entre precios y características o atributos finales que dan valor a las viviendas, obteniendo resultados sobre las variables realmente explicativas de la diferencias de precios entre inmuebles y sobre la aportación marginal implícita o PH de cada una de estas variables al precio final de la vivienda. La elección de la forma funcional adecuada a estimar en nuestra regresión hedónica se redujo a una cuestión empírica, ya que no existen aportaciones en estudios precedentes que demuestren categóricamente que una forma funcional concreta sea la más idónea. En nuestro caso, la metodología de regresión múltiple a través de MCO concluyó que la mejor aproximación hedónica es el modelo semilogarítmico, empleando como endógena el precio de la vivienda en términos logarítmicos y como regresores: superficie construida; estado de conservación muy malo, malo y regular; presencia de garaje; número de habitaciones/dormitorios; contaminación acústica de 55 a 60, de 60 a 65 y de 65 a 70 dB; superficie del terreno en logaritmo; antigüedad al cuadrado; y distancia al foco del ruido al cuadrado.

La Política Medioambiental expuesta en esta tesis recoge de manera resumida las medidas fundamentales puestas en práctica por el MINISDEF relacionadas con el ambiente y su protección. Entre ellas, está la política sobre el ruido generado por las aeronaves militares en el entorno de las BA del EA y orientada a alcanzar los objetivos plasmados en la legislación vigente en materia de conservación, protección y recuperación de las condiciones ambientales. Entendemos que se deben coordinar, conjuntamente, factores económicos, sociales, legislativos y ambientales, que nos permita aproximarnos a un modelo sostenible de desarrollo en las FFAA para la consistencia real de dicha política ambiental, para lo cual, podemos tener en consideración los datos obtenidos y el estudio llevado a cabo en esta tesis.

CAPÍTULO 2. EXPOSICIÓN Y CUANTIFICACIÓN SONORA EN LA ZONA, SÍNTETIZACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS Y UNA PRIMERA APROXIMACIÓN TEÓRICA

2.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se pretende alcanzar una aproximación teórica del precio de las viviendas en la zona de estudio. Para ello, en primer lugar se plasmó la información disponible relativa al ruido ambiental y la normativa vigente en el área de estudio. En segundo lugar, se conceptualizó los términos físicos sobre el ruido más relevante y sus principales aspectos psicológicos, todo ello referente a las molestias percibidas y su ponderación, así como un primer acercamiento a la evaluación del ruido aeroportuario militar y de los descriptores e índices de ruido empleados. En tercer lugar, se matizaron las medidas e inversiones realizadas tanto por la BA de Gando como por AENA en aislamiento acústico en las viviendas limítrofes al aeropuerto. Por último, se llevó a cabo una aproximación analítica sobre los diferentes estudios nacionales e internacionales realizados a cerca de la valoración económica del ruido aeroportuario, en los que se utilizaban distintos métodos e índices de valoración con respecto al mercado inmobiliario, poniendo especial énfasis en los PH y la VC.

2.2. LEGISLACIÓN ACÚSTICA

La publicación por la Comisión de la UE, en noviembre de 1996, del denominado *Libro Verde* sobre Política Futura de Lucha Contra el Ruido, puede ser considerado como el primer paso en el desarrollo de una nueva política comunitaria global de lucha contra el ruido ambiental. En línea con este principio, la UE adoptó el 25 de junio de 2002 la Directiva 2002/49/CE, del Parlamento Europeo y el Consejo sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental¹⁸ (Directiva Europea en adelante). En ella se trata de proporcionar una base para desarrollar y completar el conjunto de medidas comunitarias existente sobre el ruido emitido por las principales fuentes, en particular ruido industrial, aglomeraciones urbanas e infraestructuras de transporte, mediante la necesidad de realizar un diagnóstico de la situación acústica global en el ámbito de la UE. Las medidas se pusieron en práctica mediante las acciones siguientes:

- Armonización de índices de ruido y métodos de evaluación.
- Agrupación de datos armonizados en mapas estratégicos de ruido.
- Elaboración de planes de acción.
- Publicación de toda la información sobre el ruido ambiental disponible.

El enfoque central se basa en la determinación cartográfica de la exposición al ruido según métodos comunes, en la información a la población y en la aplicación de planes de acción a nivel local. En este sentido, su misión es combatir el ruido que percibe la población en zonas urbanizadas, en parques públicos u otras zonas tranquilas, en una aglomeración, en campo abierto, en las proximidades de centros escolares y en los alrededores de hospitales y demás edificios y, lugares vulnerables al ruido. En España, la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido (Ley del Ruido en adelante), ha incorporado las previsiones básicas de la Directiva Europea, asumiendo como objetivo prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar y minimizar los daños para la salud humana, los bienes o el medioambiente, con las peculiaridades propias de los hábitos y comportamientos de nuestra sociedad. La Ley del Ruido ofrece una oportunidad idónea para dotar de mayor estructura y orden al panorama normativo español sobre el ruido, y así crear los cimientos donde asentar la normativa generada con anterioridad por las Comunidades Autónomas y entes locales. La aplicación de la Ley del Ruido implica a todos los emisores acústicos de cualquier

¹⁸ DOUE número L 189, de 18 de julio de 2002.

índole, ya sean de titularidad pública o privada, así como a las edificaciones en su calidad de receptores acústicos. Si bien quedan excluidos del alcance de esta normativa, entre otras, las actividades militares, que tendrán su legislación específica.

Un aspecto relevante de la citada Ley del Ruido es el de *calidad acústica*, definida como el grado de adecuación de las características acústicas de un espacio a las actividades que se realizan en su ámbito, evaluado, entre otros factores, de acuerdo a los niveles de inmisión y emisión. Corresponde al Gobierno fijar, a través del correspondiente reglamento, los objetivos de *calidad acústica* aplicables a los distintos tipos de área acústica en que se zonifica el territorio, atendiendo a los distintos usos del suelo, de manera que se garantice, en todo el territorio, un nivel mínimo de protección frente a la contaminación acústica. Además, la Ley del Ruido define las *zonas de servidumbre acústica*¹⁹ como sectores del territorio en los que las inmisiones podrán superar los objetivos de calidad acústica aplicables a las correspondientes áreas acústicas y donde se podrán establecer restricciones para determinados usos del suelo, actividades, instalaciones o edificaciones, con la finalidad de, al menos, cumplir los valores límites de inmisión establecidos para aquéllos. Las *servidumbres acústicas* están destinadas a conseguir la compatibilidad del funcionamiento o desarrollo de las infraestructuras de transporte, con los usos del suelo, actividades, instalaciones o edificaciones implantadas, o que puedan implantarse, en la zona de afección por el ruido originado en dichas infraestructuras.

El Real Decreto 1513/2005 de 16 de diciembre por el que se desarrolla la Ley del Ruido, tiene por objeto la evaluación y gestión del ruido ambiental, con la finalidad de prevenir, reducir o evitar los efectos nocivos, incluyendo las molestias derivadas de la exposición al ruido ambiental. Por ello se desarrollan los conceptos de ruido ambiental y sus efectos y molestias sobre la población, junto a una serie de medidas que permiten la consecución del objeto previsto como son los *Mapas Estratégicos de Ruido*, los planes de acción y la información a la población. Más recientemente, el Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que también se desarrolla la Ley del Ruido, establece las normas necesarias para el desarrollo y ejecución en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. Por último, comentar el Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al

¹⁹ Introducidas legalmente por el artículo 63 de la Ley 55/1999, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y de orden social.

ruido como medida para proteger y garantizar una adecuada protección de los trabajadores.

Tanto la Ley del Ruido como la Directiva Europea dejan claro que las actividades militares están excluidas de su ámbito de aplicación. Así en la Ley del Ruido en su artículo 2, punto 2, nos señala que: *“No obstante lo dispuesto en el apartado anterior, quedan excluidos del ámbito de aplicación de esta Ley los siguientes emisores acústicos: b) [...]. Las actividades militares, que se regirán por su legislación específica”*. Y en la Directiva Europea, en su artículo 2, punto 2, nos indica que: *“La presente Directiva no se aplicará al ruido producido por la propia persona expuesta, por las actividades domésticas, por los vecinos, en el lugar de trabajo ni en el interior de medios de transporte, así como tampoco a los ruidos debidos a las actividades militares en zonas militares”*. Al no existir, por el momento, una legislación específica para las actividades militares, aplicable al caso que nos ocupa, el ruido de aeronaves militares en la generación de *Mapas de Ruido* de las BA españolas, se han aplicado los índices y procedimientos marcados por la legislación civil nacional y europea.

En relación con los métodos provisionales para calcular el ruido procedente de aeronaves, se publicó la *Recomendación de la Comisión Europea* de 6 de agosto de 2003²⁰, relativa a las orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, el procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes, ajustándose al dictamen del *Comité* en su artículo 18 de la Directiva 2000/14/CE del *Parlamento Europeo* y del *Consejo*. Por la relevancia que tiene para este estudio, matizaremos que tanto en la Directiva Europea, el artículo 14 de la Ley del Ruido,²¹ y el artículo 8 del Real Decreto 1513/2005, se expone que, los *Mapas de Ruido* son la representación gráfica de los valores de los índices acústicos normalizados mediante isolíneas uniformes, encaminado a permitir la evaluación global de la exposición a la contaminación acústica de una determinada zona, permitir la realización de predicciones globales para dicha zona y posibilitar la adopción fundada de planes de acción en materia de contaminación acústica y, en general, de las medidas correctoras que sean adecuadas, aplicando criterios homogéneos de evaluación que permitan hacer comparables entre sí las magnitudes del ruido ambiental determinadas en cada lugar. Asimismo, la normativa plantea una serie de características para su elaboración:

²⁰ DOUE número L212 de 22 de agosto del 2003.

²¹ BOE número 276 de 18 de Noviembre del 2003.

- Hay que elaborarlos para el ruido de carreteras, ferrocarriles, aeropuertos y aglomeraciones.
- La altura de evaluación es de 4 metros sobre el nivel del suelo.
- Los índices acústicos que se emplean son el L_{den} y L_{night} .
- El sonido que se evalúa es el sonido directo.

En relación con el ruido provocado por los aeropuertos, la Ley del Ruido, en una primera fase, requirió la elaboración de *Mapas Estratégicos de Ruido*, antes del 30 de Junio de 2007 para aeropuertos civiles con más de 50.000 movimientos por año, en donde se incluyó al Aeropuerto de Gran Canaria. Como consecuencia del carácter de *Infraestructuras de Interés General del Estado*²² que poseen los aeropuertos, y en este caso, la BA, no es aplicable la normativa autonómica ni local. Sin embargo, a título informativo, el marco normativo autonómico en materia de ruido está representado por la Ley 1/1998, de 8 de enero, de *Régimen Jurídico de los Espectáculos Públicos y Actividades Clasificadas*. La reglamentación local en materia de ruido está constituida por las ordenanzas municipales. A fecha de realización de este estudio, los cuatro municipios situados en el ámbito de estudio disponen de su correspondiente ordenanza aprobada en el pleno del ayuntamiento. A continuación, se adjuntan las ordenanzas vigentes así como su fecha de aprobación.

Tabla 4. Ordenanzas Municipales sobre protección del medio ambiente contra la emisión de ruidos y vibraciones vigentes

MUNICIPIO	PUBLICACIÓN
Agüimes	BOP Las Palmas nº 25, de 22 de febrero del 2013
Ingenio	BOP Las Palmas nº 141, de 24 de noviembre de 1989
Santa Lucía de Tirajana	BOP Las Palmas nº 124, de 18 de octubre de 1996
Telde	BOP Las Palmas nº 152, de 25 de diciembre de 1998

Fuente: Boletín Oficial de la Provincia de Las Palmas en <http://www.boplaspalmas.net>, febrero 2015.

²² Artículo 1 del Real Decreto 2858/1981, de 27 de noviembre, sobre calificación de aeropuertos civiles.

La OACI, en su anexo 16 sobre normas de certificación acústica y, la FAR (*Federal Aviation Regulations*) en su parte 36 de la *Federal Aviation Administration* (FAA en adelante) estadounidense²³, constituyen la normativa en vigor que actualmente limita la contaminación acústica de aeronaves en entornos aeroportuarios (FAA, 1999a, 2011), y remarcamos que, la aviación militar queda exenta. La normativa OACI sólo incluye recomendaciones dirigidas a los Estados firmantes del Convenio de Chicago²⁴, por lo que no es de obligado cumplimiento, mientras que las regulaciones de la FAA si han de ser forzosamente observadas por todas las aeronaves que operen en los EEUU.

Los países más desarrollados del mundo han convertido en ley las recomendaciones OACI, e incluso han promulgado, en algunos casos, legislaciones más restrictivas. Atendiendo a una serie de factores como son antigüedad del certificado de aeronavegabilidad del prototipo, peso máximo al despegue o *Maximum Take-Off Weight*, relación de dilución del motor, número de motores, etc., la OACI establece hasta once capítulos (*Stages* para FAA) para clasificar toda la flota mundial de aeronaves. Son los capítulos 2 y 3 los que más incidencia tienen para la aviación comercial, así como el capítulo 9 referente al uso del APU (*Auxiliar Power Unit*) durante las operaciones en plataforma.

²³ La *Federal Aviation Administration* se creó en 1958 y es una agencia del departamento de transporte con autoridad para reglamentar y supervisar todos los aspectos de la aviación civil en los EEUU. Para más información sobre las regulaciones que se dictan, véase http://www.faa.gov/regulations_policies/.

²⁴ Firmado en Chicago el 7 de diciembre de 1944. Para más información consultar el Protocolo de Buenos Aires, de 24 de septiembre de 1968.

2.3. LA FÍSICA DEL RUIDO AEROPORTUARIO Y SU CUANTIFICACIÓN. ASPECTOS PSICOLÓGICOS DEL RUIDO: CORRELACIÓN CON LAS MOLESTIAS PERCIBIDAS Y LA PONDERACIÓN EN SU MEDICIÓN

El carácter subjetivo del ruido viene dado desde su misma definición: sonido no deseado. Esto significa que un ruido puede ser molesto para una persona y no serlo para otros y, es probable que encontremos tantas definiciones del mismo como interlocutores seamos capaces de entrevistar. Generalizando, dependiendo del tipo de ruido o la característica de la fuente sonora, distintos sonidos con igual *Nivel de Presión Sonora*²⁵ (NPS en adelante) pueden causar grados de molestia muy diferentes, destacando que por razones subjetivas o psicológicas, el ruido de aeronaves causa una incomodidad mayor. El NPS se determina mediante la fórmula siguiente:

$$\text{NPS (dB)} = 20 \log \frac{P}{P_{\text{pref}}}$$

Donde:

P es la presión sonora en N/m² o pascal.

P_{pref} es la presión de referencia 2x10⁻⁵ N/m² o pascal.

El NPS es un óptimo indicador en la percepción de la contaminación acústica, ya que muestra las variaciones en la presión que se propagan en el aire. Las respuestas tipo por parte del oído humano se establece apoyándose en curvas de compensación, siendo la curva "A" la más utilizada junto al NPS, que corregido con dicha curva, permite establecer el nivel sonoro, expresado en dB(A). Un estudio realizado en Holanda en el año 1999 (Rhodes y Ollerhead, 2001), donde se reflejaba el porcentaje de la población gravemente perturbada por el ruido en función del NPS derivado de varias fuentes, llegó a una serie de conclusiones como que a 55 dB(A), están por debajo del 10%. Además, a niveles tan elevados como 75 dB(A), el porcentaje altamente molesto por el ruido ferroviario apenas llegaba al 20%, mientras que la

²⁵ También conocido por sus siglas en inglés SPL, *Sound Pressure Level*.

molestia causada por el ruido de aeronaves superaba el 60%. Finalmente se afirmó en este estudio que la sola medición del nivel sonoro no brinda información suficiente sobre el nivel de ruido o la existencia de molestias en la población expuesta. Por este motivo, es importante tener en consideración los factores cualitativos o subjetivos, además de los cuantitativos, al realizar valoraciones de nivel de ruido.

Los ruidos con fuertes componentes de baja frecuencia resultan especialmente molestos, aún a bajos NPS, y tienen una incidencia directa en el resultado de la medición. No debemos perder de vista que uno de los objetivos a alcanzar es encontrar una magnitud que represente de forma adecuada la molestia percibida por la población expuesta al ruido. Las curvas de ponderación no fueron concebidas con estos fines, sino que tuvieron su origen en las curvas isofónicas, con la intención de representar lo más fielmente posible la sensación de sonoridad, mediante la limitación de la curva de respuesta en frecuencia del oído humano para distintos NPS. De todos modos, existe suficiente evidencia empírica que demuestra que en ambientes donde el ruido de baja frecuencia es importante, los resultados extraídos con la curva "A" dan una estimación aceptable del grado de molestia. Otro factor que influye en la reacción de los individuos ante el ruido es la época del año, ya que de eso depende si las ventanas se encuentran abiertas o cerradas, y con eso, el adecuado aislamiento acústico de la edificación.

2.4. ¿CÓMO EVALUAR EL RUIDO EMITIDO EN LAS INMEDIACIONES DE UNA BASE AÉREA POR LA ACTIVIDAD DE LAS AERONAVES MILITARES?

La contaminación acústica en los entornos de los aeropuertos y de las BA presenta una peculiar problemática, mayor en lo que se refiere a la convención de los parámetros físicos en los que se sustenta y a los sistemas de medición-evaluación, a partir de los cuales se puede establecer un análisis pormenorizado de los factores y pautas que inciden en su propagación espacial, así como las razones de su concentración en áreas muy precisas. De ahí, que la valoración de las curvas isófonas adquiera una especial connotación en lo que respecta a la difusión del ruido de aeronaves en el entorno de los aeropuertos.

Conceptos físicos como el de *sonoridad*, *presión sonora* o *nivel de ruido percibido* son fundamentales para poder explicar las causas del impacto sonoro del tráfico de aeronaves, y las diferentes formas de percepción material de este hecho por parte de la población, que difieren notablemente en función de su localización espacial respecto a las fuentes, las instalaciones en tierra de los aeropuertos y la proyección sobre el terreno de los pasillos aéreos y de acceso a sus áreas terminales de aproximación.

La *sonoridad*, cuya sensación depende en gran medida de la intensidad, frecuencia y contenido espectral, puede considerarse como la impresión subjetiva de intensidad de un sonido cuya unidad será el *son*, o sonoridad percibida por una persona al oír un tono de 1.000 Hz o un NPS de 40 dB (Antón, 1995). El parámetro que en realidad permite cuantificar la sensación de rechazo al ruido, es el nivel de ruido, expresado en *noys* o sonido que se percibe con igual ruido que otro cuyo ancho de banda es una octava centrada en 1.000 Hz con un NPS de 40 dB y una duración de 0,5 segundos. Dicho nivel se corrige por la presencia de tonos puros y, según su duración, se obtiene el *Effective Perceived Noise Level* (EPNLdB en adelante), que expresado en dB, permite obtener una correlación entre el ruido y molestia sonora (Fraas y Munley, 1989).

A pesar de la importante carga de subjetividad que lleva asociada el término ruido, se han llegado a establecer unos límites máximos a los que las poblaciones pueden ser sometidas. En el caso de Europa, este límite es de 65 dB durante el día, mientras que por la noche se reduce a 55 dB. Para medir estos niveles se utilizan infinidad de índices, pero el más utilizado es el EPNLdB, siglas que podemos traducir como *Nivel Efectivo de Ruido Percibido*. Dicho índice tiene en cuenta varios factores, entre ellos la

corrección del NPS por tono y la duración del evento, y del número de eventos durante el día y la noche. Tanto la OACI como la FAA (FAA, 1999a, 2011) utilizan este índice para medir los niveles de ruido en entornos aeroportuarios. Ambas normas establecen una metodología para los sondeos de medición del ruido muy precisa, considerando aspectos tales como las condiciones meteorológicas, los puntos exactos de medición en pista, orografía del terreno o tipos de aeronaves²⁶.

Realizar medidas mediante sonómetros, llevaría gran cantidad de tiempo, coste y dedicación, ya que la actividad de una BA es muy variable. Hay momentos de baja actividad donde las operaciones se dirigen más hacia la enseñanza, entrenamiento, mantenimiento y otras, de gran actividad como maniobras, despliegues en conflictos, etc. Además, como la propagación de los ruidos es claramente afectada por la climatología (temperatura, presión y humedad del aire, velocidad y dirección del viento), el número de medidas sería enormemente grande y el tiempo necesario, de años. Además, hay que tener en cuenta la gran extensión de terreno a evaluar. Ello nos conduce a que la forma de analizar el ruido producido por una BA es la *simulación*. Existen en el mercado, y son utilizados por los diferentes organismos militares de diversos países, programas informáticos y bases de datos que facilitan la realización de mapas de ruido entre los que podemos mencionar los siguientes:

- 1) INM (Integrated Noise Model). Programa desarrollado y suministrado por la *FAA, Office of Environment and Energy* de EEUU (FAA, 1999, 2002). Aunque su principal aplicación es la creación de mapas de ruido para los aeropuertos civiles, dispone de los datos necesarios para la aviación militar y es una herramienta de uso muy extendido mundialmente, utilizado por las autoridades aeroportuarias españolas.
- 2) NOISEMAP. Conjunto de programas desarrollado para la creación de mapas de ruido para la aviación militar por la *US Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine*. Su principal aplicación es crear contornos de ruido en las inmediaciones de BA para despegues, aterrizajes, vuelos cerrados y operaciones de mantenimiento. Es muy similar al INM

²⁶ La OACI publicó en 1988 la circular 205-AN/1125 titulada *Método recomendado para calcular las Curvas de Nivel de Ruido en la Vecindad de los aeropuertos*. El mismo fue reemplazado en 2008 por el manual Doc. 9911 con el mismo título, donde se emplean unos procedimientos más actualizados y la información más reciente sobre el ruido y el rendimiento de las aeronaves). También véase FAA (1999a).

pero tiene la ventaja de poder modificar futuras actuaciones sin necesidad de volver a introducir los datos, tanto gráfica como numéricamente.

- 3) RNM (*Rotorcraft Noise Model*). Programa utilizado en la generación de mapas de ruido en zonas de actuación de helicópteros.
- 4) MR-NMAP. Programa de uso especial para la creación de mapas de ruido en zonas de entrenamiento de aviones.
- 5) BOOMMAP. Cuando en zonas de actuación de aviones se sobrepasa la velocidad del sonido, se producen unos ruidos que pueden simularse mediante este programa.
- 6) SELCAL. Programa muy fácil de utilizar y que sirve para calcular varios índices en un determinado punto debido a la actuación de un avión militar. Podríamos definirla como una *calculadora* de ruidos.

Hay muchos más programas pero, de uso militar, los comentados anteriormente son los más utilizados. Tenemos que señalar que la modelización para la generación de un mapa de ruido es una herramienta muy poderosa, ya que es posible modificar las condiciones de generación, las diferentes variables que intervienen en el cálculo de ruidos, incrementar o disminuir la actividad de la BA en estudio y todo ello, en un tiempo realmente corto para observar su incidencia en los contornos generados para el mapa de ruido. Ahora bien, como todo programa informático tiene sus limitaciones ya que no es posible tener en cuenta todas y cada una de las variables que intervienen. Pero considerando estas limitaciones (Fleming *et al.*, 2000), los resultados que se obtienen son totalmente válidos. El *Laboratorio de Ingenieros del Ejército* lleva manejando desde hace ya varios años, los programas INM y NOISEMAP, con los que ya han generado los mapas de ruido de siete BA Españolas, en la que incluimos a la BA de Gando.

El objetivo de un estudio de impacto acústico producido por el tráfico de aeronaves, ha de ser la cuantificación del territorio que está expuesto a un determinado nivel. Además, según la Directiva Europea, los valores obtenidos deben ser representativos de las condiciones medias anuales. Esta observación hace que no sea posible

realizarlo mediante medidas de campo, porque éstas, únicamente, son representativas de las condiciones dadas en el momento y lugar de la medición (Venegas *et al.*, 2003).

El impacto acústico que producen las aeronaves en las proximidades de los aeropuertos está asociado al tipo de avión, motorización, velocidad y al número de operaciones de vuelo que en él se producen. Advertir que en las BA el tráfico de aeronaves es muy variable, circunstancia que dificulta su evaluación desde el punto de vista de impacto acústico en los entornos de las mismas. Las variaciones o incrementos de estas operaciones, hacen necesario el disponer de herramientas adecuadas y bien calibradas, ya que al tratarse de fuentes que se desplazan rápidamente en grandes extensiones de terreno, las áreas de influencia que generan son amplias. La utilización de estas herramientas sin una correcta validación, puede dar como resultado errores elevados, pudiendo obtener escenarios no reales (Sánchez Venegas *et al.*, 2003). Para evaluar las medidas, hay que guiarse del marco legal existente, que es la Directiva Europea anteriormente mencionada. En su Anexo II explica que los métodos de cálculo provisional de L_{den} y L_{night} , para el cálculo de ruido de aeronaves, deberán utilizar la técnica de segmentación de trayectorias de vuelo, técnica que utiliza el INM y que nosotros hemos utilizado para este trabajo.

2.5. DESCRIPTORES E ÍNDICES DE RUIDO

La relación entre las complejas características del ruido ambiente y su efecto sobre las personas no es nada simple, por lo que efectuar un análisis cabal de la exposición al ruido de una población, implica un volumen de información enorme, poco práctico de administrar y de comparar. La finalidad de un descriptor o indicador es reducir este complejo escenario de ruido a una magnitud que siga siendo significativa, pero que sea más escueta y simple de manejar. Por supuesto, se perderán detalles puntuales del evento global, ya que, necesariamente, estos parámetros simplificados constituyen una representación incompleta de la realidad, pero este es un compromiso aceptable. Estos parámetros pretenden dar una indicación del nivel de ruido que logre acercarse lo más posible al nivel de molestia percibido por las personas expuestas. La experiencia internacional nos muestra que se ha utilizado una amplia gama de descriptores e indicadores de ruido. Elegir cuál o cuáles son los más convenientes no es sencillo, la cantidad de variables en juego es grande, y no hay un método escrito para llegar a la mejor solución. Debemos entonces considerar y analizar todos los factores relevantes antes de tomar una decisión.

Todas las mediciones y evaluaciones acústicas a que se refiere la Ley de Ruido asumen la aplicación de índices acústicos homogéneos correspondientes a las 24 horas del día, al período diurno, vespertino y nocturno. La Ley del Ruido cuenta entre sus objetivos principales, la fijación de dichos índices homogéneos, a través de sus normas de desarrollo reglamentario y las exigencias de la Directiva Europea, en el sentido de que la preparación y la revisión de los *Mapas Estratégicos de Ruido* se aplicarán los índices de ruido L_{den} y L_{night} o L_n , descritos en su anexo I. El Real Decreto 1513/2005 define los siguientes índices de ruido²⁷:

- a) *Índice de ruido día-tarde-noche (L_{den})*. Asociado a la molestia global durante el día, la tarde y la noche, utilizado para determinar la molestia vinculada a la exposición al ruido. El sonido que se tiene en cuenta es el sonido incidente, es decir, no se considera el sonido reflejado en la fachada de un determinado edificio o estructura. Se expresa en dB y se determina mediante la expresión siguiente:

²⁷ Definidos también en la norma, UNE-ISO 1996-1, 2005: "Acústica: Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación".

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} (12 \cdot 10^{L_d/10} + 4 \cdot 10^{L_e+5/10} + 8 \cdot 10^{L_n+10/10})$$

Donde:

1. L_d , nivel sonoro medio a largo plazo ponderado "A", determinado a lo largo de todos los períodos día de un año desde las 7:00 a las 19:00 horas.
2. L_e , nivel sonoro medio a largo plazo ponderado "A", determinado a lo largo de todos los períodos tarde de un año desde las 19:00 a las 23:00 horas.
3. L_n , nivel sonoro medio a largo plazo ponderado "A", determinado a lo largo de todos los períodos noche de un año desde las 23:00 a las 7:00 horas.

b) *Índice de ruido noche* (L_{night} o L_n). Indicador del nivel sonoro durante la noche que determina las alteraciones del sueño. En concreto, es el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado "A", determinado a lo largo de todos los períodos nocturnos de un año. El Real Decreto contempla la utilización, además de los índices anteriores, de otros índices de ruido suplementarios, cuando se dé alguno de los siguientes casos:

1. La fuente emisora de ruido considerada sólo está activa durante una fracción de tiempo (por ejemplo, menos del 20% del tiempo durante los períodos diurnos, vespertinos o nocturnos de un año).
2. El número de casos en que se emite ruido es, en uno o más de los períodos considerados, en promedio, muy bajo (por ejemplo, menos de un caso por hora).
3. El contenido en bajas frecuencias del ruido es grande.
4. El ruido tiene carácter impulsivo.

Tanto el ruido de las aeronaves como las actividades que se desarrollan en las BA se corresponden con alguno de los casos enumerados anteriormente, por lo que deben utilizarse también los índices $L_{m\acute{a}x}$ o SEL para la protección durante el período nocturno en caso de incrementos

bruscos de ruido. Los vocales de L_{den} y L_{night} se definen a través de los métodos de evaluación previstos en el Anexo II de la Directiva Europea.

- c) *Sound Exposure Level (SEL)*. Es el Nivel de Exposición Sonora, también conocido como *Single Event Level* (Nivel de un solo evento), e intenta valorar ruidos de eventos únicos, como el paso de un avión o un tren. Está basado en la integración de todo el evento sonoro, teniendo en cuenta la cantidad total de energía del evento. El valor SEL se define como el nivel de sonido continuo durante un período de un segundo que contiene la misma energía que el evento sonoro individual completo. De las tres constantes de tiempo, *impulse*, *fast* y *slow*, la más empleada internacionalmente para este tipo de mediciones es la rápida (*fast*). Para un evento sonoro ocurrido durante un intervalo de tiempo T, la relación entre el SEL y $L_{eq}(A)$ es:

$$SEL = L_{eq}(A) + 10 \cdot \log(T/1s)$$

Donde $L_{eq}(A)$ es el nivel sonoro continuo equivalente, expresado en dB(A) que tiene, durante un período T, la misma energía acústica que el ruido real variable en el tiempo.

- d) L_{Amax} . Es el nivel sonoro máximo alcanzado con ponderación frecuencial "A". Respecto al SEL y el L_{Amax} , se considera que los mismos pueden ser buenos indicadores para eventos sonoros aislados como el ruido de aeronaves individuales. Estos índices merecen un estudio posterior más detallado, pero que en el presente trabajo no se incluyen.
- e) Otros descriptores de ruido son *los percentiles*. Indican el porcentaje de tiempo durante el cual se ha rebasado un determinado valor. Los valores de L_{10} y L_{90} dan información del nivel de ruido pico y nivel de ruido de fondo.

El L_{eq} es el más utilizado internacionalmente en mediciones a largo plazo de exposición a ruidos ambientales continuos, apareciendo un gran número de indicadores de ruido definidos en base al L_{eq} . Aún es motivo de discusión si el L_{eq} es un indicador adecuado para la noche. Se aprecia una alta correlación con la calidad general del sueño entre el valor $L_{eq}(A)$ y el número de personas altamente perturbadas por el ruido, cuando se trata de exposición a largo plazo, pero dado que eventos sonoros aislados de elevada amplitud pueden interrumpir el sueño, sería más adecuada una combinación de L_{eq} y $L_{m\acute{a}x}$ (Schultz, 1978).

El L_{den} es un indicador razonablemente bueno del grado de exposición promedio al ruido en una cierta área geográfica durante períodos de 24 horas o superiores. Para ruidos que se caracterizan por poseer eventos sonoros aislados, como el de tráfico aéreo, el índice $L_{m\acute{a}x}$ o el SEL, resultan más apropiados para describir la molestia percibida, y se correlacionan mejor con el grado de perturbación del sueño. Como $L_{Am\acute{a}x}$ ignora la duración del evento, es esperable que el SEL dé una descripción más exacta del acontecimiento.

El hecho de que ante iguales niveles de L_{den} para ruidos de tránsito aeronáutico no produzcan iguales niveles de molestia en la población expuesta, no hace más que confirmar la necesidad de complementar el nivel equivalente con algún otro tipo de indicador. También, se ha demostrado la relación entre el nivel $L_{night}(A)$ y el número de habitantes que alegan sufrir graves alteraciones de sueño provocadas por el ruido. Sin embargo, reconocen que para ciertos casos específicos, como son los eventos sonoros aislados (el paso de aviones sobre poblaciones), ruidos intermitentes, o cuando el contenido de bajas frecuencias es importante, se puede llegar a incrementar la eficacia de la medición mediante el uso de indicadores adicionales.

La Directiva Europea reconoce que, además de $L_{den}(A)$ y $L_{night}(A)$, puede resultar conveniente utilizar indicadores de ruido especiales cuando el contenido de bajas frecuencias del ruido sea grande. La importancia que tiene es que en aeropuertos donde el tráfico aéreo no es muy elevado, los niveles equivalentes L_{den} y L_{night} pueden arrojar unos datos que nos haría pensar que no se provocan molestias en los alrededores. En estos casos, el nivel L_{max} puede dar una idea más acertada, ya que el paso de una sola aeronave puede provocar molestia debida a la diferencia entre el ruido de fondo y el máximo

Limitándonos al ruido producido por los aviones, Schultz (1978) realizó un estudio sobre la molestia que producían mediante el empleo del indicador L_{den} . En dicha curva

se observa que a partir del 60 dB(A) de L_{den} , una media del 10% de la población afectada, queda altamente molesta por el ruido. También han sido evaluados los efectos que el ruido produce en el sueño y se ha observado que en las proximidades de una BA el uso del índice L_{eq} no es el más adecuado ya que subestima la alteración del sueño cuando el ruido procede de un número reducido de eventos, siendo más conveniente el uso del índice SEL. La curva da la relación estadística observada entre el valor del índice SEL del dB(A) en el interior de una edificación debido al ruido producido por el paso de una aeronave y el porcentaje de personas que teóricamente pueden despertarse.

Como criterio general, podemos decir que el cambio hacia un nuevo indicador, de naturaleza diferente a los utilizados habitualmente, se justifica si se puede demostrar que el mismo presenta ventajas significativas frente al anterior. Por todo lo anteriormente expuesto, y dada la naturaleza de la fuente de ruido objeto del presente estudio, emplearemos los índices L_{den} y L_{night} , dejando para un estudio posterior los restantes antes mencionados.

2.6. ¿CÓMO MITIGAR EL RUIDO DE LAS AERONAVES MILITARES? INVERSIONES EMPRENDIDAS POR LA BASE AÉREA DE GANDO Y AENA

Tanto a nivel nacional como internacional, en el ámbito militar o civil, cuatro son las medidas que deben seguirse para mitigar el ruido que recibe un receptor:

-Limitar el ruido generado por la fuente. Medida vinculada a las empresas de diseño y construcción de aeronaves y de sus elementos, mediante mejoras técnicas y de optimización de diseños o/y la reducción de los niveles sonoros ocasionados por el motor de la aeronave. Existen programas internacionales de investigación que tratan de abordar cada una de las fuentes de ruido aeroportuario y en particular, los motores *jet-fan* y el ruido estructural, que destacan como contribuidores principales al ruido aeroportuario. En Europa, se ha impulsado la iniciativa conocida como *Aero-Acoustics Methods for Fan Noise Prediction* (FANPAC), primera fase de un programa de colaboración e investigación sobre ruido aeroportuario iniciado el 1 de enero de 1993. Más recientemente, se han iniciado seis programas de investigación bajo el contexto del Proyecto *X-Noise*, que a partir de abril de 2001, se aglutinaron bajo la plataforma tecnológica *SILENCE(R)* relativa a ruido motor y estructural, y la *Aircraft Wing With Advanced Technology Operation* (AWIATOR), relativa a ruido aerodinámico procedente de las alas. A modo de síntesis, algunos estudios señalan una reducción adicional del 50% del ruido durante las operaciones de despegue y aterrizaje futuras, lo que conllevaría una disminución de 10 dB para el año 2020.

-Medidas enfocadas a la ordenación y gestión del suelo. El objetivo de la planificación correcta del territorio radica en alejar del entorno de las BA y aeropuertos en general, los usos más sensibles acústicamente (equipamiento de tipo sanitario o educativo principalmente) en detrimento de usos más compatibles con los niveles previsibles como el uso industrial y comercial.

-Actuar sobre el camino de propagación del ruido y aislar el receptor. Se estima que el ruido aeroportuario en el interior de las viviendas con aislamiento acústico óptimo (doble acristalamiento o insonorización), reduce de 14 a 23 dB(A) el ruido recibido (Stone *et al.*, 1972).

-Restricciones operativas. Dentro del concepto de *enfoque equilibrado* de la OACI, se define restricción como cualquier acción relacionada con el ruido que limita y reduce el acceso de una aeronave a un aeropuerto. De esta manera, el

establecimiento de restricciones operativas puede mejorar la afección acústica existente mediante la prohibición o limitación de la operación de las aeronaves más ruidosas. A nivel estatal, el primer referente legislativo relativo a la aplicación de restricciones operativas recayó en el Real Decreto 873/1987 mediante el cual se establecían limitaciones sobre las operaciones de las aeronaves subsónicas que no cumplieran unos criterios de ruido marcados.

Para que estas normas tengan éxito es imprescindible que se realice, previamente, un estudio acústico exhaustivo y con mediciones reales llamado *huella acústica* del entorno del aeropuerto, que abarque las trayectorias de las aeronaves en las maniobras de despegue, aproximación y aterrizaje, así como el uso de los aviones una vez en tierra, incluyendo las operaciones en las áreas de aparcamiento y las pruebas de motores. Entre las medidas más eficaces para la resolución de este tipo de problemas son el establecimiento de las rutas de salida y llegada de modo que eviten sobrevolar, a baja altitud, las poblaciones más próximas al aeropuerto, restricciones a las operaciones nocturnas y a la utilización de la *reversa* de los motores como sistema de frenado, entre otras. En el entorno de las BA, mitigar el ruido producido por las aeronaves no es tarea fácil, ya que limitar el ruido de la fuente, las aeronaves militares, supondría la merma de su potencia, velocidad y maniobrabilidad, característica fundamentales en la aviación militar.

No corresponde al MINISDEF y tampoco tiene competencias sobre la misma, para tomar medidas sobre la ordenación y planificación del suelo, ya que, aunque en algunas áreas, como puede ser el caso de la BA de Gando, que en su construcción inicial a principios del siglo veinte, no existían poblaciones colindantes a menos de 5 kilómetros, pero que debido al desarrollo urbanístico, se ha visto incrementado el volumen de viviendas y población en sus proximidades. Limitar el número de operaciones a realizar tampoco parece ser una opción válida ya que disminuiría la operatividad. Nos quedan solamente las opciones de crear distancia entre la fuente y el receptor y aislar el receptor. Aun así, con objeto de minimizar el impacto acústico sobre las poblaciones vecinas, el centro de operaciones del MACAN lleva a cabo una serie de procedimientos específicos, en los cuales, en la medida de lo posible, no se sobrevuelan los núcleos habitados en el entorno de la BA de Gando.

Hay determinados países que han optado por la que podemos denominar *planificación del uso del suelo*, que en general consiste en permitir con restricciones o prohibir que ciertas construcciones se realicen en zonas que acústicamente, pueden

ser perjudiciales para la salud de las personas. Uno de los ejemplos más extendidos consiste en establecer zonas del terreno circundante a una BA en función de los valores de L_{den} obtenidos en un mapa de ruido:

- a) La Zona I (Nivel L_{den} dB (A) menor de 65) es aceptable para edificaciones de uso residencial u otras edificaciones sensibles al ruido.
- b) La Zona II (Nivel L_{den} dB (A) entre 65 y 75) normalmente no es recomendada para edificaciones de uso residencial u otras edificaciones sensibles al ruido.
- c) La Zona III (Nivel L_{den} dB (A) mayor de 75) está prohibida para cualquier edificación.

Como resumen a todo lo expuesto, la aviación militar emite en el entorno de las BA ruido de mayor o menor intensidad, el cual, se puede valorar y predecir mediante el uso de mapas de ruido generados normalmente, por procedimientos de simulación que de acuerdo con el índice de ruido adecuado, se puede relacionar el ruido producido con la molestia, a las personas que habitan o residen en su entorno. Hay gran multitud de índices y hay que elegir el más adecuado al uso que se trata de dar al mapa de ruido, además, hay que tener cuidado con la unidad de medida empleada, el dB, ya que no es una unidad lineal sino logarítmica, y su mal uso puede dar resultados erróneos.

El control acústico no se limita únicamente a las aeronaves en vuelo, sino que también se lleva a cabo en tierra, especialmente durante la noche, en zonas de plataforma de estacionamiento de aviones próximas a las poblaciones que limitan con el aeropuerto. Varias son las medidas emprendidas en la BA de Gando para paliar la contaminación acústica (Tabla 5). Debemos destacar que dichas medidas sólo influyen al propio recinto militar y a quienes trabajan en él. Del presupuesto total de la BA de Gando para los años 2010 (3.189.378,71 euros) y 2011 (3.005.021,13 euros)²⁸, el montante total destinado a paliar la contaminación acústica fue de un 0,79% y un 1,14% respectivamente, observándose que a pesar de acontecer una disminución del

²⁸ Estos importes son exclusivamente los gestionados por la SEA 14 del MACAN de los capitulados 2 y 6 comprendidos en los presupuestos generales del estado, excluyéndose los gastos en combustible para aeronaves, alquiler de vehículos, entre otros gastos que, son administrados de manera centralizada. Tampoco se consideran los relacionados al capítulo 1 sobre *Gastos de Personal*.

presupuesto general, el gasto en este concepto aumentó. Destacar los 26.703,59 euros de inversión en el aislamiento acústico de la Guardería de Gando, la cual estuvo totalmente operativa en el mes de Julio del 2009, y que cumple con toda la normativa acústica en vigor, así como de una serie de procedimientos coordinados con la Sección de Operaciones del Ala 46 para evitar exposiciones sonoras al aire libre en momentos de maniobras aéreas de aeronaves militares. Para este estudio y a efectos de valoración, no se han tenido en cuenta los recintos situados en el interior de la BA.

Tabla 5. Inversión en protección contra la contaminación acústica. BA de Gando

MEDIDAS ADOPTADAS	INVERSIÓN (€)		APLICACIÓN PRESUPUESTARIA
	2010	2011	
Doble acristalamiento en diversas dependencias, hangares y pabellones (insonorización)	7.852,38	18.535,14	14 022 122N 2 212
Aislamiento acústico de la Guardería de Gando	14.325,45	12.378,14	14 022 122N 2 212
Adquisición de material fungible (tapones) para la protección acústica en plataformas y aeronaves	635,00	742,00	14 022 122M 1 229 00
Adquisición de cascos acústicos para la protección auditiva en los hangares y pistas de vuelo	2.535,00	2.639,00	14 022 122N 1 660
TOTAL	25.347,83	34.294,28	

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Negociado de Contratación de la SEA 014 del MACAN, obtenidos del SIGEA (Sistema Informático de Gestión del Ejército del Aire). Datos no publicados.

En lo que se refiere a las competencias civiles en el sector aeroportuario, el artículo 149.1 de la Constitución Española, punto 20, establece la competencia exclusiva del Estado en materia de aeropuertos de interés general, control del espacio aéreo, tránsito y transporte aéreo, además de matriculación de aeronaves. Estas competencias las desarrolla a través del ente público AENA que forma parte del Ministerio de Fomento y que fue constituido mediante el Real Decreto 905/1991, y que ejerce funciones en materia de navegación aérea y de aeropuertos.

Nos gustaría destacar que, según la Resolución de 2 de febrero de 2006, de la *Secretaría General para la Prevención de la Contaminación y del Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente*, se formuló la declaración de impacto ambiental sobre el

proyecto *Actuaciones en el aeropuerto de Gran Canaria* de AENA²⁹. Entre las actuaciones recogidas en la citada declaración de impacto ambiental, se incluyó en su condición 7ª *Protección Acústica*, la necesidad de elaborar las isófonas definidas por L_{den} 65 dB(A) entre las 7:00 y 23:00 horas y/o L_{night} 55 dB(A) entre las 23:00 y 7:00 horas, así como de un *Plan de Aislamiento Acústico* (PAA en adelante) para las viviendas que se encontraran situadas dentro de las zonas delimitadas por dichas isófonas³⁰.

En particular, la ejecución de los PAA, tiene como objetivo minimizar las molestias que ocasiona en el entorno de los aeropuertos, el ruido producido por las aeronaves en sus operaciones de despegue, aterrizaje, rodadura, pruebas de motores, etc., ejecutado en aquellas viviendas y edificaciones, que estando incluidas dentro de la envolvente de las isófonas del aeropuerto correspondiente, dispongan de licencia de obra con fecha anterior a la publicación en el BOE de la resolución que le sea de aplicación, con vistas a conseguir que en el interior de los citados inmuebles se cumplan los objetivos de calidad acústica que se recogen en la tabla B del anexo II del Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

A 1 de enero del 2012, de un total de 259 viviendas con financiación aprobada para el aislamiento acústico, 231 han sido ejecutadas, con un coste total de 3.796.000 euros (Tabla 6). Estos datos se han tenido en cuenta para el cálculo de la afectación en el mercado inmobiliario de la zona.

Tabla 6. Aplicación del PAA a 14 de junio del 2012

MUNICIPIO	VIVIENDAS			
	Con derecho a solicitud de aislamiento acústico	Con financiación aprobada	Con aislamiento acústico en ejecución	Con aislamiento acústico ejecutado y pago efectuado
Agüimes	106	41	13	28
Ingenio	531	92	1	91
Santa Lucía de Tirajana	1	0	0	0
Telde	299	126	14	112
TOTAL	1.037	259	28	231

Fuente: AENA (2012). *Plan de Aislamiento Acústico correspondiente al Aeropuerto de Gran Canaria del 14 de junio del 2012, Informe Ejecutivo*. Declaración de Impacto ambiental del 14/03/2006 y del 04/12/2009, febrero 2015.

²⁹ Publicado en el BOE nº 62, con fecha 14 de marzo de 2006.

³⁰ Con el fin de ejecutar las actuaciones de aislamiento acústico asociadas al citado Plan y de dar cumplimiento a la citada declaración, se creó la Comisión para la Ejecución del PAA del aeropuerto de Gran Canaria (CEPLA–Gran Canaria).

2.7. LA VALORACIÓN DEL RUIDO AEROPORTUARIO MILITAR

Las tres acciones principales para la evaluación de impactos ambientales son: identificación, medición y, posteriormente, valoración, teniendo en cuenta que, cuando no pueda ser valorado un impacto ambiental, debiera ser considerado cualitativamente en el análisis. Una de las bases fundamentales de la economía ambiental, ha sido el intento de incorporar al mercado los bienes ambientales, que por sus características de propiedad, en su mayoría bienes públicos puros o recursos comunes, no entran dentro de los mecanismos clásicos de asignación de precios (Azqueta, 1997). Para ello, se ha desarrollado un complejo aparato instrumental y un conjunto de indicadores³¹, con el que se procede a la obtención de estimaciones monetarias del valor de los bienes ambientales.

La principal dificultad en el desarrollo de estos indicadores es la inexistencia de series estadísticas que recojan adecuadamente los parámetros físicos de los procesos económicos, ya que sólo en las dos últimas décadas, se han elaborado registros estadísticos que proporcionan este tipo de indicadores a través de las Cuentas Satélite de la Contabilidad Nacional³² y el Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica Integrada (Pérez Zabaleta y San Martín, 2004).

El estudio económico de la defensa nacional se basa en la teoría de los denominados bienes públicos puros, que son aquellos que por sus características de indivisibilidad en el consumo, no exclusividad y no rivalidad, solamente pueden ser producidos por el Estado (Marín y García-Verdugo, 2003). El concepto de defensa nacional se fundamenta en el ordenamiento constitucional español³³ y vincula a toda la sociedad en la salvaguarda de la soberanía e intereses nacionales³⁴. La provisión de la defensa nacional está justificada por su propia naturaleza de bien público y su gestión se ordena de acuerdo con los mismos principios que afectan a los bienes públicos en general, además de ser su prestación, una responsabilidad irrenunciable e indelegable del Estado, lo que justifica la necesidad de su intervención. Además, la defensa, en su vertiente productiva, utiliza recursos, realiza inversiones, adquiere

³¹ En el ámbito de la Economía Ecológica: a) La *huella ecológica*, que trata de medir la superficie necesaria para la producción de bienes y servicios y la asimilación de los residuos derivados por parte de una determinada economía (Carpintero, 2004); y b) La *mochila ecológica*, que pretende estimar los requerimientos de recursos naturales necesarios para obtener una unidad de producto final (Wackernagel y Rees, 1997; Schmidt-Bleek, 2000).

³² Para más información, a nivel europeo, consultar en <http://epp.eurostat.ec.europa.eu>.

³³ Artículo 30 de la Constitución Española.

³⁴ Ley Orgánica 5/2005, de 17 de noviembre, de la Defensa Nacional.

bienes intermedios en el mercado, etc., y los combina de la manera más eficiente posible, para soportar unas determinadas capacidades operativas y de defensa.

Ahora bien, el incremento de las actividades militares aeroportuarias trae consigo múltiples externalidades negativas a la sociedad. Una de estas externalidades es la llamada contaminación acústica o contaminación por ruido, su impacto en el bienestar social, y la consideración del sonido emitido por los reactores como ruido molesto para la mayoría de la población (Reingold, 1995), externalidad asumida como un contaminante ambiental de bajo coste de generación y cuyo valor económico presenta una problemática especial desde el punto de vista de su medición ya que, está subjetivamente influenciada por la percepción de las comunidades o individuos afectados, condiciones culturales, sociales y de más factores, que generan apreciaciones diferentes en cada individuo, permitiendo variar el concepto de molestia relacionada a la consideración del ruido como externalidad negativa (Correa *et al.*, 2011). En ese sentido y como objetivo principal de este trabajo, se plantean, como sus efectos más representativos, la incidencia sobre el precio de las viviendas y en la población.

Se ha llevado a cabo una revisión exhaustiva de la literatura objeto de este estudio, para establecer, en primer lugar, una valoración económica del ruido de forma general, para luego, centrarnos en la aeroportuaria militar. Matizamos que son diversos los trabajos económicos publicados en España que versan sobre aeropuertos y su impacto en la economía (Antón, 1995; García-Montalvo y Pérez, 1996; Robusté y Clavera, 1997; Calvo y Morales, 1998; Riera y Macian, 1999; Bilbao, 2000; Gómez, 2002; Marmolejo, 2008; Marmolejo y Romano, 2009), los cuales, en su mayoría, tenían como finalidad un análisis coste/beneficio (ACB), una mitigación del ruido, establecer medidas de moderación o una valoración económica social del ruido en un entorno residencial utilizando modelos econométricos.

Esta ausencia relativa, en comparación con los estudios sobre otras externalidades ambientales, no se restringe sólo a la producción española. Algunas publicaciones realizan análisis coste/beneficio, pero no contienen dicho tipo de análisis o, en cierta manera, están incompletos al no tratar los costes ambientales (Ody, 1969; Nwaneri, 1970; Guadagni y Negre, 1979; Keech, 1982); o se quedan solo en aspectos teóricos y sin aplicación real (Mackie, 1983; Correa *et al.*, 2011); o trabajan con datos simulados (Cohen, 1997); o sólo tratan los costes básicos (*Commission on The Third London*

*Airport y Roskill, E.*³⁵, 1971) aunque de una manera muy acertada; o se centran en exclusiva en el ruido y la contaminación vehicular en diversas ciudades europeas (Pommerehne, 1988; Soguel, 1994; Lambert *et al.*, 2001; Vainio, 2001; informe COWI³⁶ 2001 y proyecto UNITE³⁷ 2003); o realizan estudios relacionados con el ruido de las turbinas eólicas en Dinamarca (Tougaard *et al.*, 2009b); e incluso para el cálculo de los impuestos ambientales, por ejemplo, en la cuota del ruido de los aviones (Thune-Larsen, 1995) o sobre la base de estudios de VC y PH (Lake *et al.*, 2000), entre otros.

Con el fin de obtener una visión más completa sobre los estudios de valoración del ruido, hemos consultado las bases de datos existentes a nivel internacional (la canadiense EVRI³⁸ que nos dio 12 accesos a la palabra “noise”, y la base de datos australiana ENVALUE³⁹, con 24 estudios sobre ruido en aeropuertos en diversas partes del mundo), estudios elaborados por las autoridades nacionales publicadas en revistas académicas, así como diversas tesis doctorales. Las bases de datos EVRI y ENVALUE muestran claramente la necesidad de añadir estudios específicos de valoración del ruido, y más aún del ruido aeroportuario. Además de estas bases de datos, el antes Departamento de Medio Ambiente, Transportes y Regiones (Department of Environment, Transport and Regions), del Reino Unido, ha construido una lista de investigaciones sobre valoraciones ambientales⁴⁰. Sin embargo, esta lista incluye sólo unos pocos estudios de valoración del ruido.

Por último, hemos llevado a cabo una serie de visitas por distintas webs de las FFAA de diversos países del mundo, incluyendo la española⁴¹, pero no hemos conseguido encontrar ningún estudio relevante y contrastado sobre el tema central de este estudio con la salvedad de la investigación elaborada por Randall (2001) en el cual demostró la relación entre el precio de las viviendas y la proximidad a un

³⁵ Conocida como *Roskill Commission* en 1968, no calcula los beneficios de cada alternativa de localización del tercer aeropuerto de Londres, sino sólo los costes (análisis coste/eficiencia). Estableció una pérdida de valor de los inmuebles de un 29% para el término central de la muestra (mediana).

³⁶ Informe COWI (2001), siglas del inglés *Consultancy within Engineering, Environmental Science and Economics*, que estudia los casos de varios países europeos.

³⁷ Proyecto de la Comisión Europea, véase Maibach *et al.* (2008).

³⁸ Almacén global de gestión canadiense de más de 2.000 estudios internacionales que proporcionan valores, metodologías, técnicas y teorías sobre la valoración del medio ambiente, disponible en <http://www.evri.ec.gc.ca/EVRI/>.

³⁹ Base de datos desarrollado por *The Environment Protection Authority, New South Wales* en 1995, como una colección sistemática de los estudios de valoración ambiental disponible en <http://www.epa.nsw.gov.au/envalue/>.

⁴⁰ <http://www.defra.gov.uk/environment/evslist/index.htm>.

⁴¹ <http://www.af.mil/> - U.S. Air Force; <http://www.raf.mod.uk/> - Royal Air Force; <http://www.lw.admin.ch/> - Swiss Air Force; <http://www.ejercitodelaire.mde.es/> - Ejército del Aire.

aeropuerto, concretamente, el aeropuerto exclusivamente militar de El Toro en California (EEUU). Concluyó que las casas unifamiliares más cercanas al aeropuerto disminuían su precio de venta en un 27,4%. Por supuesto, en esta disminución no se incluían los costes que debían asumir los propietarios de las viviendas para mitigar el impacto del ruido.

Por su parte, los estudios de valoración económica del ruido urbano en América Latina han sido escasos (Rueda, 2004; Osorio, 2006; Vásquez *et al.*, 2007; Revollo, 2009; Duque *et al.*, 2011), a pesar de que la mayoría de la población de las grandes ciudades latinoamericanas padece las consecuencias del ruido aeroportuario. En pocas ciudades del continente se han iniciado investigaciones rigurosas para determinar, a través de la valoración económica, la pérdida de bienestar asociada a esta relevante externalidad negativa y su repercusión en el mercado inmobiliario.

Aproximándonos a nuestro objetivo, los estudios realizados sobre valoración económica del ruido se han centrado en establecer valores para las afectaciones, bajo el enfoque de la percepción de molestias asociadas a la exposición a diferentes niveles de ruido y al efecto que tiene sobre el valor de las viviendas. Así, los estudios encontrados en la literatura económica buscan establecer, básicamente, la Disposición a Pagar (DAP en adelante) por la disminución de los ruidos causados por diversas fuentes, tráfico vehicular, aéreo o ferroviario (Vásquez *et al.*, 2007). La mayoría de los estudios llegan a la conclusión lógica de que al considerar el efecto del ruido sobre el precio de las viviendas, se detecta una relación inversa entre el incremento de los niveles de ruido y el precio de las viviendas, mostrando una afectación negativa del ruido en su precio, así como una DAP positiva de los individuos por reducciones en los niveles de ruido (Flowerdew, 1972; Schultz *et al.*, 1988; Wilhelmsson, 2000; Strand y Vagnes, 2001; Bateman *et al.*, 2001; Marmolejo, 2008). Aunque esta conclusión no se puede generalizar ya que, depende de numerosos factores subjetivos, de localización y de facilidad a accesos o servicios de la vivienda, que pueden aumentar el precio de la vivienda conforme nos acercamos al aeropuerto (Morrison *et al.*, 1999; Lipscomb, 2003), si se hace necesario desde el punto de vista de una política ambiental óptima, el control y la reducción, en la medida de lo posible, de la contaminación acústica en las urbes, considerando el riesgo para la población afectada, sus consecuencias para la salud y la economía local.

Debemos tener en cuenta que el hecho de que una propiedad se encuentre cerca de una fuente de ruido no es una prueba automática de una pérdida de valor en el

mercado. Por tanto, el analista debe encontrar y emplear métodos válidos para medir con precisión la pérdida de valor del inmueble en el mercado. Desafortunadamente, como se ilustra en diversos estudios mencionados anteriormente y en otros que desarrollaremos en puntos posteriores, donde se recogen cuantiosos métodos de medición de ruidos ambientales, no existe una sola norma ni un solo modelo. Sin embargo, existen puntos en común en lo referente al ruido en los aeropuertos y su afectación sobre los bienes raíces. En este sentido, hay un segmento del mercado que se supone casi imperturbable a los efectos del ruido, mientras que en el extremo opuesto, nos encontramos con una parte significativa de la población que manifiesta un rechazo considerable a adquirir una propiedad cercana a cualquier aeropuerto o autopista relevante, incluso ante grandes descuentos en la compra (Paul, 1971).

Uno de los estudios más importantes y completos sobre este asunto, publicados hasta la fecha, se llevó a cabo por la FAA (Booz-Allen y Hamilton Inc. *et al.*, 1994). En el mismo, se estudió tres aeropuertos norteamericanos: el de Baltimore/Washington, el de Los Ángeles y el JF Kennedy. Los resultados indicaron un impacto negativo en los valores de mercado de los inmuebles residenciales cercanos al aeropuerto de Los Ángeles, oscilando la pérdida de valor desde un 0,8% por dB(A) para viviendas de precios bajos, hasta un 19% para viviendas de precios moderados. Para el aeropuerto de Baltimore/Washington, la pérdida de valor variaba desde los 627 hasta los 14.595 dólares por vivienda. Por último, para el Aeropuerto JF Kennedy, se indicaba una pérdida de 0,12% por dB(A) para viviendas de precios bajos, un 0,46% por dB(A) para viviendas de precios moderados y un 1,35% por dB(A) para viviendas de precios altos. Las conclusiones más relevantes obtenidas son que los hogares de precios bajos se ven afectados en menor medida en comparación a hogares de precios moderados y altos. De hecho, la pérdida en valor de los hogares de precios de mercado bajos es generalmente mínima. Además, el estudio muestra que la pérdida de valor de viviendas de precios moderados es de en torno a un 19%. Finalmente, la reducción en el valor de una vivienda de precio alto será de, aproximadamente, 2,5 veces el de una vivienda de precio moderado.

2.8. TÉCNICAS DE EVALUACIÓN DEL RUIDO AEROPORTUARIO MILITAR SOBRE EL MERCADO INMOBILIARIO: MEDICIÓN Y PREVISIÓN O CÁLCULO

Introduciéndonos en la abundante literatura económica, se pueden encontrar diferentes estudios teóricos y/o empíricos, que han tratado de analizar y monetizar las implicaciones de la contaminación acústica generada por diferentes fuentes (el tráfico vehicular, aéreo y ferroviario, entre otros), mediante la utilización de diversas técnicas de evaluación. En general, la utilización de las técnicas y métodos para desarrollar los ejercicios de valoración económica dependen de las preferencias establecidas (Lambert *et al.*, 2001). En un intento por valorar el impacto acústico provocado por el tráfico aeroportuario, los investigadores han utilizado fundamentalmente dos aproximaciones para la valoración de los bienes sin mercado: el método de los PH, perteneciente a la familia de las preferencias reveladas o implícitas; y la VC, englobada en las preferencias declaradas o explícitas⁴².

Por su parte, el método de la VC⁴³ es una técnica simple y de comprensión intuitiva que intenta conocer, mediante la realización de encuestas de tipo sociológico, el valor monetario específico de aspectos intangibles de bienes ambientales complejos de valorar, por medio de la simulación de un mercado hipotético de provisión de éstos (Mitchell y Carson, 1989). Por ejemplo, el valor económico que para los vecinos de un aeropuerto tendría la hipotética reducción del ruido de aeronaves. Así, en el marco del análisis de las preferencias, basa la asignación de valor, a las preferencias individuales, establecidas a partir de respuestas directas de los consumidores (Haro y Taddei, 2010). En definitiva, el objeto principal es medir monetariamente los cambios en el nivel de bienestar de los encuestados producidos por la variación de la calidad ambiental (Riera y Macian, 1999). En cambio, el método de PH fue sugerido inicialmente por Griliches (1971) e intenta conocer el peso específico que las variables ambientales tienen en la formación de los valores de los bienes con mercado (Rosen,

⁴² Existen variantes relevantes de estas metodologías que han sido aplicadas a la valoración del ruido en general. En el caso de la familia de preferencias reveladas, está la valoración basada en la entrevista a agentes de la propiedad inmobiliaria (*expert assessment*). En el caso de las preferencias declaradas, los experimentos de elección o *choice experiment* (Carlsson *et al.*, 2004) y los análisis conjuntos o *conjoint analysis* de bienes compuestos (Thune-Larsen, 1995; Rueda, 2004) ambos basados en atributos de mercados hipotéticos, por lo que requieren la elaboración de cuestionarios.

⁴³ También conocido como método de estimación hipotética de la curva de demanda, del mapa de indiferencia, de estimación de preferencias declaradas y de mercados construidos. Mitchell y Carson (1989) y, Riera (1994) contribuyeron a la difusión de este método. Véase su aplicación en el accidente del petrolero Exón Valdez en 1989.

1974). Por tanto, este método presupone que las externalidades, incluidas las ambientales, son internalizadas en el valor de mercado, es decir, analiza el bien ambiental mediante el establecimiento de una relación entre el precio de un bien mercadeable y los atributos ambientales relacionados con este (Garrod y Willis, 1992).

A pesar de que ambas metodologías intentan llegar a un mismo fin tienen diferencias significativas. En concreto, el PH intenta determinar el precio marginal implícito de los bienes ambientales, sin embargo, éste no suele coincidir, por lo general, con la DAP (Gibson, 1976; Freeman, 1979; Brookshire *et al.*, 1982). Además, en el caso de la afectación del ruido aeroportuario sobre las viviendas del entorno, los estudios empíricos se han decantado por este método. En contra, la VC puede internalizar valores de no uso, lo que abre un abanico importante de utilidades prácticas en su utilización.

Alternativamente y algo denostado por su falta de precisión, se ha utilizado el método de *transferencia de beneficios* (Osorio, 2006) como una herramienta que puede llegar a ser importante para la valoración económica del ruido⁴⁴, óptima cuando se presentan dificultades para aplicar una adecuada recolección de información básica, es decir, tomamos un valor existente y lo trasladamos a una nueva aplicación o bien ambiental distinto del original, confrontando el análisis de un conjunto de varios estudios (meta-análisis) para identificar los determinantes del valor.

Otra técnica de preferencia revelada que se aplica al ruido, es el enfoque de los *costes de evitación* (Dickie, 2003) que consiste en, una vez producido el daño medioambiental, se adoptan las medidas necesarias para impedir daños mayores, es decir, ante un empeoramiento del ruido en las inmediaciones de un aeropuerto militar, por ejemplo, la población local o instituciones públicas, puede comenzar a hacer inversiones de aislamiento en sus hogares, por lo que, un coste ambiental se mide en términos monetarios. Sin embargo, la principal debilidad de este método es que sólo, en determinadas circunstancias, los resultados se pueden interpretar como un indicador de pérdida de bienestar/beneficios del aumento/disminución de los niveles de ruido.

Existen algunos autores (Randall, 1998, 1999) que utilizan herramientas propias para el cálculo de las condiciones perjudiciales en el mercado mobiliario debido a la contaminación como son la Matriz DC (*Detrimental Conditions*), el Modelo DC, la Tabla

⁴⁴ La *Environmental Protection Agency* de EEUU desarrolló en el año 2000 unas líneas de actuación recomendadas para la utilización de este método de valoración.

de Bell y los Tres Enfoques de Valoración DC, que considera el ruido aeroportuario como Clase V, que se define como una externalidad o condición intrínseca de la zona, y de carácter permanente. En función de las características del ejercicio de valoración y bien ambiental, se utilizará una u otra metodología.

Por contra, otros autores (Pearce y Turner, 1990; Bilbao, 2000; Lipscomb, 2003) proponen tomar previamente en consideración, la utilización de métodos indirectos como el de PH para la valoración ambiental ya que, al utilizar información disponible en los mercados, revela realmente las preferencias de los consumidores. No obstante, si no se dispone de información suficiente sobre el bien a valorar, por no existir un mercado conocido y delimitado, puede ser preferible la utilización de otros métodos de preferencias declaradas. Enfatizamos que puede tener potenciales aplicaciones en situaciones donde no es posible, por restricciones presupuestarias y de tiempo, como podría ser en las mediciones del ruido aeroportuario en las inmediaciones por la ampliación de una nueva pista, por ejemplo, realizar un nuevo estudio de valoración económica en profundidad.

Los valores económicos para la molestia del ruido varían en función del país o región. Esto podría ser debido a un gran número de razones: a los diferentes niveles iniciales de ruido, de ingresos, diferencias culturales, metodológicas, muestrales, de enfoques o unidades de valoración del ruido, diferentes supuestos base sobre los niveles de ruido o temporales. Además, aunque es difícil comparar entre estos diferentes tipos de medición sin información completa acerca de la población de la muestra, sus propiedades, los niveles de ruido a los que están expuestos, los rangos individuales que cubren, etc., pueden proporcionar puntos de referencia útiles para la valoración de los costes externos del ruido. Con respecto a la medición del ruido ambiental, es posible describir diversos indicadores utilizados internacionalmente para la medición de los niveles de ruido, catalogados como indicadores descriptivos de ruido, comentados en apartados anteriores. Entre estos indicadores, los más utilizados son: el índice de ruido urbano (IRU), el L_{night} y L_{den} , el Índice de Depreciación de Ruido (NDSI, en sus siglas en inglés), entre otros. Algunos son compuestos como el NEF, el ANEF, o el NNI, utilizados en el mundo anglosajón que combinan: el tono, el volumen (dB), el número de eventos (despegues y/o aterrizajes) en un intervalo definido, su duración y la hora en la cual ocurren (día o noche). El NEF o *Noise Exposure Forecast*, desarrollado por la FAA, es un índice compuesto construido a partir del EPNdB.

El método NEF ha sido adoptado por el Departamento de Vivienda y Desarrollo Urbano, el cual no garantiza hipotecas sobre propiedades afectadas con un NEF de 40 y, generalmente, considera las propiedades afectadas con un NEF +30, inaceptables (FAA, 1999a). Con un NEF 30, las reacciones adversas al ruido percibido por los habitantes de la zona son escasas. De 30 a 40 NEF, los individuos comienzan a quejarse y pueden acontecerse acciones de grupo (manifestaciones o acciones judiciales). Con un NEF +40, existen numerosas y reiteradas denuncias unido a una muy probable acción enérgica de grupo. Para una mejor comprensión y acercamiento al análisis final del estudio, aclararemos que un NEF equivale a un L_{den} de 65 dB y que un NEF igual a 40, equivale a L_{den} de 75 dB. Este es un método científicamente válido, pero en la práctica se ha sustituido por la medida L_{den} en estudios de ruido recientes, incluyendo en el que nos ocupa.

El ANEF es la versión adaptada del NEF para Australia. Un estudio publicado en el *Journal of Environmental Economics and Management* comporta que un aumento de 5 NEF del ruido ambiental, disminuirían el valor de mercado en un 2,5% (Nelson, 1979). Otro ensayo publicado en el *Journal of Transport, Economics and Policy*, indicaba que un aumento de una unidad en el índice NEF, repercute en una disminución del valor en el mercado inmobiliario de 0,65% (Uyeno *et al.*, 1993).

El *Noise and Number Index* fue desarrollado por el Comité Británico Wilson e intenta medir la molestia del ruido de los aviones desde la perspectiva del sujeto que lo percibe, por tanto, está basado en encuestas. Combina medidas de intensidad con el número de eventos en un índice acumulativo individual y se diferencia del NEF en la forma en que se mide el nivel máximo de ruido percibido en cada caso. Además, al igual que el NEF, enmascara los efectos hedónicos del sonido y el número de eventos, y es criticado por subestimar la percepción de molestia (Levesque, 1994).

Si tomamos en consideración todos los estudios mencionados, a mayor valor de compra inicial de la vivienda, mayor será la pérdida soportada debido al ruido aeroportuario, oscilando desde la ausencia de pérdida para viviendas de precios bajos y niveles de ruido de 35-45 NNI (Mark, 1980), y el 29% para viviendas de clase alta y un ruido ambiental de +45 NNI (Paul, 1971). En nuestra zona de estudio, la mayoría de las viviendas son de precios moderados/bajos, por lo que nuestro desarrollo analítico versará sobre este tipo de vivienda en puntos posteriores.

Por último, los Países Bajos utilizan la unidad Kosten (Ku) desarrollado en la década de 1960 por el *Comité Kosten*. Los resultados se presentan en términos de

compensación por la aumento de la molestia del ruido requerido por hogar y mes. Para los hogares con ingresos mensuales medios, sin aislamiento al ruido, un aumento en el nivel de ruido 20 a 30 Ku requeriría una compensación de 97,72 euros por mes. Además, Miedema y Vos (1998), elaboraron un ejercicio de meta-análisis para la ciudad de Leiden (Holanda), y utilizaron datos generados mediante el indicador L_{night} . Este estudio consideró el ruido generado por tres fuentes: tráfico vehicular, ferroviario y aéreo, bajo la construcción de curvas de comportamiento que relacionaban niveles de molestias y de ruido que oscilaban entre 45 y 75 dB. El estudio determinó una relación directa y creciente entre el incremento de los niveles de ruido percibidos y la molestia generada, además de asociar niveles de molestia mayores con el ruido generado por aeronaves que por tráfico vehicular o ferroviario. En general, el enfoque metodológico y la unidad utilizada para medir el valor económico de la molestia del ruido difieren entre países, e incluso entre sectores del mismo país.

2.9. EVALUCIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. LOS PRECIOS HEDÓNICOS Y EL NDSI

Este primer enfoque se basa en el estudio de los PH que informan de los resultados en términos de índice de depreciación/sensibilidad al ruido (Walters, 1975), o *Noise Depreciation Sensitivity Index* (NDSI en adelante). En relación al objeto de nuestro estudio, consiste en determinar en qué manera la molestia de consumir un activo ambiental, el ruido aeroportuario, afecta al precio de una serie de bienes para los que existe un mercado perfectamente definido como es el mercado de la vivienda, y a efectos de estandarizar el impacto del ruido sobre el valor de los bienes, queda definida como la variación porcentual promedio de los precios de la propiedad inmobiliaria por cada dB. Para convertir este valor capitalizado de las rentas futuras esperadas en un valor anual, tienen que hacerse suposiciones acerca del horizonte temporal y la tasa de descuento que también varían entre países.

Para evitar estos supuestos, varios autores (Palmquist, 1980; Kim, 1992) sugirieron el uso de cuotas de alquiler en lugar de los precios de venta como la variable dependiente de las regresiones ya que, refleja más apropiadamente, el dinamismo y los cambios del entorno en el mercado de la vivienda. Soguel (1994) utilizó el alquiler mensual como variable dependiente en su regresión en viviendas de la ciudad de Neuchatel (Suiza), el cual, encontró un valor de 47 euros por dB, hogar y año. Uno de los problemas más relevantes en el uso de cuotas de alquiler en los estudios de los PH es que dicho mercado puede ser controlado, con lo que los precios del alquiler no reflejan verazmente los distintos niveles de afectación por ruido. En este sentido, es dudoso que el precio, ya sea de compra o alquiler, que están dispuestos a pagar por una vivienda los nuevos vecinos de un área afectada por un ruido extremadamente específico o momentáneo, como el proveniente del tráfico aeroportuario militar, refleje plenamente la pérdida de valor motivada por una molestia. Además, este método tiene como pilar fundamental la consideración de que las personas están constantemente reevaluando su predisposición de pago en función de los atributos del bien. Incidir en que las aplicaciones empíricas de este enfoque al ruido no serán revisadas.

La mayoría de los estudios de valoración sobre el ruido que reciben las zonas residenciales, utilizan el método de PH. La principal fortaleza de este método es que se basa en el comportamiento real en el mercado de la vivienda, donde las personas pueden mostrar su DAP en función al ruido soportado y otras características ambientales observables de la vivienda. El NDSI puede adoptar valores con extremos

desde 0%, es decir, independencia total entre la variación de los precios y el nivel de exposición sónica, hasta 10,7%, en circunstancias muy específicas. Las debilidades generales son que el resultado de los estudios de PH, en términos de precio implícito del factor ambiental, es la inestabilidad de los resultados por problemas en la especificación forma funcional de los modelos (funciones logarítmicas, lineales o transformación Box-Cox, entre otros, con resultados dispares), así como de la propia información de origen de los estudios que utilizan el meta-análisis sobre la calidad del aire y el ruido de las aeronaves (Kerry y Huang, 1995; Schipper, 1996; Bertrand, 1997; Miedema y Vos, 1998; Schipper *et al.*, 2001; Nelson, 2004). Por ejemplo, las propias condiciones de los mercados locales de vivienda, en los que los registros utilizados generalmente provienen de bases inmobiliarias con fines distintos a la valoración del ruido, no suelen incluir aspectos importantes como la configuración del programa arquitectónico, la exposición de cada espacio habitable al ruido exterior o el nivel de aislamiento de las viviendas. Añadir que Frankel (1988) realizó un estudio del ruido de aviones que recibían 35 núcleos urbanos cercanos al aeropuerto de O'Hare, utilizando la evaluación tanto de los agentes inmobiliarios como de tasadores a través de estimaciones con este método.

Según se desprende de la teoría, las aplicaciones metodológicas en diferentes ciudades, para diferentes años, deben tener ciertos resultados similares. Así, Schipper *et al.* (2001) determinaron que el precio implícito de la contaminación acústica generada por el ruido de los aviones es influenciado por un número de factores detectables, tales como las fechas de ocurrencia, las regiones donde se den y el grado de especificación con el cual se desarrollan estos estudios. Estos autores emplearon una prueba estadística más formal, combinada con una metodología denominada meta-análisis, con la finalidad de descubrir por qué varían de una investigación a otra, los efectos del ruido producido por aeropuertos europeos con condiciones similares. En este punto, destacar el resultado de un estudio de *transferencia de beneficios* que se aplicó en la ciudad de Amsterdam (Holanda), donde se utilizó el indicador NDSI para relacionar el ruido aeroportuario con el decremento del valor de las propiedades. El estudio concluyó que la depreciación de la propiedad por ruido es más alta para viviendas con el precio promedio más alto. La investigación concluye que la línea base de partida para la determinación general del indicador NDSI es de 0,33% de depreciación del valor de las propiedades para países europeos, mientras que para EEUU debería ser de 0,65%. De forma similar, Bateman *et al.* (2001), valoraron el

impacto por ruido de los aviones y el resultado obtenido fue un NDSI equivalente a 0,25%, para las propiedades de Glasgow (Escocia).

Por un lado, Van Praag y Baarsma (2005) basaron su investigación en el supuesto de que los efectos de las externalidades se reflejan en los precios de las viviendas. Dado que los mercados de bienes raíces no son perfectos debido en cierta medida al gran número de variables no controlables que le influyen (desarrollo general de la economía, aspecto subjetivos del propietario, inversiones realizadas en mejoras y estado de conservación de la propiedad, puntos de equilibrios de la oferta y la demanda, etc.), se desarrolló un método de corrección que permitía evaluar los daños en los hogares. Los autores evaluaron el valor monetario de las molestias causadas por ruido aeroportuario de Schiphol (Holanda), en unidades Ku, donde el coste total del ruido se determinó como la suma de las diferencias de PH y un componente de coste residual, el cual, fue obtenido a través de una encuesta de satisfacción escalonada.

Estos mismos autores publicaron en 2005, *Using Happiness Surveys to Value Intangibles: The Case of Airport Noise*, un método novedoso que relaciona bienestar con ruido aeroportuario y que es utilizada en otros campos (investigaciones sociológicas y psicológicas). En concreto, ambos autores parten de la hipótesis de que el nivel de felicidad es una función del nivel de renta y ruido, y de otras variables (tamaño de la familia, tiempo que permanecen en el hogar, presencia de balcón o jardín, entre otras), dentro de las cuales, el precio de la vivienda tiene un carácter compensatorio y fluctúa en relación al ruido percibido. El método está basado en una encuesta en la que los implicados señalan, entre otras cosas, su nivel de calidad de vida dentro de una "escala de la vida" (*ladder of life*), (Cantril, 1965) y que, a través de una adaptación econométrica, nos muestra el coste social del ruido, entendida como la cantidad monetaria que permitiría restaurar el nivel de felicidad o bienestar de una persona dado un perjuicio sonoro determinado. El resultado de dicho estudio estimó que la percepción del ruido en los hogares tiene una influencia negativa en el precio de las viviendas, de tal manera que, una familia que tenga unos ingresos medios de 1.500 euros, necesitaría recibir una compensación de 33,60 euros por un incremento del ruido de 20 a 30 Ku.

A diferencia de la VC, este método reduce el porcentaje de respuestas de protesta, y otros sesgos estratégicos como la sobrevaloración del bien; pero, requiere un funcionamiento perfecto del mercado residencial para obtener unos resultados acorde con la realidad. Añadir que Jasper y Straaten (2009) a través de su estudio para el

aeropuerto de Amsterdam, determinaron el precio de las viviendas con el fin de poder cuantificar los costes sociales de la perturbación por ruido, producto de la externalidad negativa generada por las aeronaves. El estudio determina que el tráfico aéreo tiene el mayor impacto sobre los precios de las viviendas, seguido por el ferroviario y el vehicular. Finalmente, estima que el beneficio marginal de la reducción por cada dB adicional es de 1.459 euros por vivienda al año.

Por otro lado, Nelson (1979), en su primera revisión de estudios de PH, adaptó el NDSI a efectos de hacer comparables los resultados. De esta manera, concluyó que el NDSI variaba entre 0,4% y un 1,1%, con una media de 0,58%. Sin embargo, en los estudios posteriores basados en 23 aeropuertos norteamericanos y canadienses (Nelson, 2004) se han reportado importantes diferencias entre países, así por ejemplo, en EEUU el descuento oscila entre 0,5% y 0,6% para niveles de exposición de 75 dB o menos, mientras que en Canadá asciende hasta el 0,9%. Dejando claro que ante dos viviendas con similares atributos, los compradores que son conscientes del coste por las molestias percibidas por el ruido aeroportuario, deciden demandar una vivienda sin los efectos negativos del ruido.

Por el contrario, Feitelson *et al.* (1996) estudiaron el impacto en la DAP del ruido aeroportuario en zonas residenciales de tres ciudades diferentes desconocidas, pero con planes de ampliación de sus infraestructuras aeroportuarias. En el estudio se entrevistó a 700 hogares con el objeto de medir su DAP por adquirir o alquilar una vivienda con características típicas de la zona donde vivían, es decir, con ruido aeroportuario. Los autores reconocen que el resultado de su estudio arroja un NDSI significativamente superior al rango medio de 0,58% reportado por Nelson (1979) para los estudios de PH, en concreto entre 2,4% y 4,1% para los encuestados propietarios, y entre 1,8% y 3,0% para los inquilinos, entendiéndose que dicha sobrevaloración se debe al hecho de que la VC lleva aparejado otras apreciaciones no reflejadas en los precios inmobiliarios, como por ejemplo, los valores de no uso⁴⁵, a la vez que el resultado de los PH está influenciado por la subjetividad de los usuarios menos sensibles al ruido. En definitiva, las compensaciones ofrecidas a los afectados basadas en estimaciones de PH no concuerdan con la pérdida de bienestar originada por el ruido, ya que la curva de isoutilidad (*bid curve*) tiene una pendiente más pronunciada que la curva marginal de precio del silencio, de manera que al aumentar

⁴⁵ El concepto de valor de no uso ha recibido especial atención en décadas recientes debido al creciente interés por la conservación y uso sostenible de los recursos, y se define como el valor que los individuos le dan a los recursos independientemente de su uso presente o futuro. Se distinguen, al menos, dos tipos: el valor de existencia y el valor de legado o herencia.

el ruido se crea un desfase en el equilibrio del nivel de bienestar del consumidor (Brookshire *et al.*, 1982), y por tanto, dichas compensaciones basadas en PH resultan insatisfactorias.

Debemos resaltar que la mayoría de los meta-análisis advierten contra el uso del método PH para el ajuste de los valores unitarios debido a los potenciales sesgos de variables omitidas y las incertidumbres en la medición de las variables incluidas. Los precios marginales en los mercados hedónicos no son necesariamente constantes, por lo tanto, hay que tener cuidado en el uso de los resultados con meta-análisis de las NDSI (Schipper, 1996; Bertrand, 1997). Las variables macroeconómicas deben ser incluidas en los meta-análisis para tratar de corregir algunas de las diferencias observadas. En definitiva, los PH dejan fuera del análisis informaciones valiosas para entender la sensibilidad hacia el ruido de los adquirentes, como las preferencias y condiciones individuales.

Entre estudios de PH no incluidos en las revisiones bibliográficas mencionadas anteriormente están Gillen y Levesque (1989) para la ampliación de la pista en el Aeropuerto Internacional de Toronto (Canadá), a través de una función econométrica semi-log y log-log, arrojando un NDSI de 0,48% y 0,21% para las casas unifamiliares y condominios, respectivamente. Señalan que estos impactos deben ser corregido por el efecto positivo de la accesibilidad (se calcula como la elasticidad de valor de la vivienda con distancia igual a -0,02 y -0,04 para viviendas unifamiliares y condominios, respectivamente) para calcular el efecto neto del aeropuerto. Estos mismos autores, Gillen y Levesque (1991), en su revisión de quince estudios sobre PH en el ruido de los aviones en ciudades de EEUU, el NDSI se encontraba entre el rango de 0,4% a 1,1% por dB, con un valor medio de entre 0,5% y 0,6%. Otra revisión, Bateman *et al.* (2001) encontraron un NDSI en el rango de disminución de los precios de las viviendas de 0,29% a 2,3% por cada incremento de un dB por el ruido de las aeronaves. Añadiremos un artículo publicado en el *Journal of Transport, Economics and Policy* el cual, a través de una regresión PH, estableció que las viviendas que sufrían índices superiores a 50 NNI (nivel de molestia inaceptable), disminuían su valor de mercado entre un 7% y 12% (Collins y Evans, 1994).

La variedad de valores de NDSI no debería ser ninguna sorpresa, es decir, no podemos esperar que los diferentes mercados de la vivienda deban tener la misma función de PH y, por lo tanto, no se esperarían aplicaciones de la técnica de fijación de PH en diferentes ciudades de diferentes años para devolver resultados idénticos.

2.10. EVALUCIÓN DEL RUIDO AMBIENTAL. UNA VALORACIÓN CONTINGENTE Y LA DAP

El segundo enfoque se basa en la VC, sobre una serie de estudios llevados a cabo en las últimas décadas. En el contexto de la externalidad por ruido, la VC busca establecer la máxima DAP por la reducción en la contaminación del ruido basándonos en el nivel de molestia. El nivel de ruido se puede utilizar como un indicador de la molestia global. De manera análoga y según el tema que nos ocupa, los costes derivados del ruido aeroportuario se valoraría por la cantidad monetaria que los afectados potenciales aceptarían como compensación mínima. A veces, los valores se pueden expresar como la exposición del individuo a niveles de ruido por encima de un cierto nivel, por ejemplo, 55 dB, sin hacer referencia a cualquier nivel de molestia. Así, se concibe como un método de valoración directa de la pérdida (o ganancia) de bienestar debido al ruido aeroportuario. Pocos estudios sobre preferencias declaradas se han realizado sobre el ruido de los aviones militares, y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, ninguno en términos de niveles de molestia ligado a la depreciación en el valor de las viviendas afectadas.

Muchos de los primeros estudios realizados por este método, no verificaban si los encuestados entendían lo que suponía para ellos la reducción del ruido (Pommerehne 1988), pero los estudios más recientes han descrito la reducción del ruido en términos que puedan ser más clarificadores y comprensibles. Navrud (2002) y Lambert *et al.* (2001) describen la reducción del ruido en términos de nivel de molestia, es decir, obtener la DAP por un programa de medidas de mitigación del ruido que eliminen la molestia. Asimismo, Navrud (2002) proporcionó a los encuestados una lista detallada de los impactos evitados en términos de molestias, como las alteraciones del sueño. En definitiva, el objetivo central de utilizar el método de VC para valorar a la externalidad generada por el ruido es determinar la DAP de los individuos por la reducción de un dB en los niveles del mismo y, por lo tanto, calcular el valor total de la reducción de pasar de un nivel de ruido inicial (línea base) en un nivel específico menor (nivel objetivo), lo que conlleva a una variación en la calidad del bien ambiental (Rueda, 2004).

Para obtener una estimación del valor económico, en primer lugar, se debe determinar cuál es el cambio en la calidad del bien ambiental (el nivel de reducción de ruido, por ejemplo) que se quiere valorar y cuál es la población afectada por este cambio. En segundo lugar, se utilizan encuestas para crear un mercado hipotético, en

el cual se pregunta al individuo por la máxima DAP. Alternativamente, este método permite también hallar la *máxima disposición a ser compensado o disposición a aceptar* (DAA en adelante) por la pérdida de un bien o servicio, o de la calidad del mismo (Riera, 1994). Por ejemplo, DAP por reducciones en niveles ruido o DAA por sufrir incrementos en niveles de ruido. Con la información recolectada se realiza una estimación econométrica de la DAP o DAA media de la población y se estima el valor en unidades monetarias totales asignado al impacto sobre el bienestar. En trabajos como el de Carson (1991) o Riera (1994), se obtiene la recomendación de utilizar, siempre que el ejercicio de valoración se adapte, la DAP en términos de variación equivalente. Siguiendo a Riera (1994) se puede estructurar el desarrollo de este método de forma completa en nueve fases.

Entre las ventajas del método de VC figura, por un lado, la cuantificación de los valores de uso y no uso, es decir, del valor económico total; por otro lado, se trata de un método versátil y aplicable a un gran número de casos distintos, posibilitando la valoración de los cambios en el bienestar de las personas antes de que se produzcan, valoraciones *ex ante*, o bien obtener valoraciones *ex post* (Carson, 1991). En cuanto a los inconvenientes, el principal problema con el que se enfrenta esta técnica es el de los sesgos, o errores sistemáticos (Riera, 1994; Azqueta, 1997), que conduce a una estimación del valor de los bienes o servicios ambientales distinta del valor real de los mismos.

Cabe señalar algunos de los trabajos que han utilizado esta técnica para la valoración de espacios naturales en España: Riera *et al.* (1994) para el Espacio Natural protegido del Pirineo Aragonés; León (1996) investigó los beneficios de la conservación de espacios naturales de la isla de Gran Canaria; Rebolledo y Pérez-Pérez (1994) para el Parque Natural de la Dehesa del Moncayo (Zaragoza); Del Saz (1996) analizó su aplicación en el Parque Natural de L'Albufera (Valencia); Barreiro y Pérez-Pérez (1997) indagaron el valor de uso recreativo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido; Segado (2000) realizó un estudio sobre la playa de la Bahía de Portman (Murcia); Prada *et al.* (2001) estimaron la demanda del espacio natural de las islas Cíes; Arriaza *et al.* (2002) estimaron el valor de uso de cinco Espacios Naturales de Córdoba y Jaén; Segado y Castro (2003), lo extendieron al estudio de una mejora y conservación de la calidad ambiental del Mar Menor; Vidal *et al.* (2004) examinaron el Parque Regional de Sierra Espuña (Murcia); Campos *et al.* (2005) examinaron el Parque Natural de los Alcornocales; Del Saz *et al.* (2008) para evaluar la calidad del agua del río Serpis; y Martínez-Carrasco *et al.* (2008) para la comarca

del Noroeste de Murcia. A nivel internacional, nos encontramos con el estudio de Schulze *et al.* (1983) en el que obtuvo una valoración monetaria de 3.500 millones de dólares anuales por los beneficios de conservar el valor paisajístico del parque nacional del Cañón del Colorado (EEUU).

A pesar de que el informe *blue-ribbon* de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) de EEUU (Arrow *et al.*, 1993) ha despejado el escepticismo en la aplicación del método de estimación de preferencias declaradas, reconociendo su utilidad en la determinación de la variación equivalente y compensatoria de los cambios en el nivel de bienestar ante una externalidad negativa, confirmando que el método de valoración contingente está sólidamente fundamentado en los supuestos aceptados sobre la teoría económica para la medición de valores de no uso en la pérdida de bienestar ante desastres medioambientales. Su aplicación en la valoración social del ruido aeroportuario y en las estimaciones de las medidas de bienestar, han sido casi nulas y sin resultados relevantes.

Una de las primeras investigaciones realizadas fue dirigida por Pommerehne (1988) para la ciudad de Basilea (Suiza), en el cual se estableció un paralelismo entre la VC y la metodología de PH. De este proceso se obtuvo una media de 43 euros por dB y hogar al año. Otro de los estudios pioneros en este asunto fue realizado en 1988 en Opschoor (Suiza), el objetivo principal de dicho estudio era la comparación de los resultados del método de PH con la VC, un análisis que anteriormente, había sido reportado para otros tipos de ruido por Brookshire *et al.* (1982) y que dejó claras las diferencias conceptuales entre ambas aproximaciones. Posteriormente, Thune-Larsen (1995), hizo una valoración económica para el aeropuerto de Oslo (Noruega), en la cual se aplicaron de manera simultánea la metodología de VC y el Análisis Conjunto⁴⁶, en la que realizó entrevistas personales a 473 encuestados, con un resultado de DAP de entre 190 y 959 euros por dB y año.

En las inmediaciones del aeropuerto de Orly (Francia), Faburel (2002) realizó una encuesta a 607 personas, cuyo objetivo era estimar los beneficios obtenidos a partir de la eliminación de las molestias por ruido de aeronaves, a través de la modificación de

⁴⁶ El Análisis Conjunto o *conjoint analysis* busca determinar el peso de los atributos que componen un determinado bien sobre el valor económico del mismo y medir las preferencias en conjunto de esos atributos (Thune-Larsen, 1995; Rueda, 2004). Así, supone que el valor de un bien ambiental está constituido por el valor de sus atributos. Al estar basados en mercados hipotéticos, requieren la realización de cuestionarios. Fue utilizado por primera vez por Rae (1983) para valorar la calidad del aire en los parques nacionales de Mesa Verde y Great Smoky de EEUU.

las trayectorias de vuelo. En las zonas más expuestas a niveles de ruido ($L_{max} > 80$ dB(A)), la DAP anual por persona fue estimado en 83 euros, mientras que para zonas en las cuales existían menores niveles de exposición (L_{max} entre 70 y 75 dB(A)), la DAP estimada fue de 11 euros. Estableció que la DAP estaba explicada, en sentido positivo, por el nivel de molestia declarado y al tratarse de viviendas unifamiliares con jardín; y en sentido negativo, por la lejanía de la fuente sonora, por el bajo nivel de formación y por la desinformación sobre la problemática del ruido aeroportuario. El índice L_{max} fue utilizado por tener la medida del ruido con más alta correlación con las molestias producidas. Finalmente, los beneficios de la eliminación de las molestias del ruido de las aeronaves alrededor de Orly se estimaron en 1,8 millones de euros al año.

Por su parte, Meister y Donatelle (2000) evaluaron el impacto de la aviación comercial en la salud humana en Minneapolis/Saint Paul (EEUU), en una muestra de 2.000 individuos expuestos a altos y frecuentes niveles de ruido. Se descubrió la existencia de una correlación entre el incremento de la percepción de molestia y el incremento de los niveles de ruido por encima de 55 dB(A). Así, se logró comprobar que aquellos individuos con los peores cuadros de salud (estrés, alta sensibilidad al ruido, deterioro de la salud mental, falta de vitalidad, etc.) corresponden a las personas que experimentan con mayor severidad el ruido generado por los aviones.

El estudio de Carlsson *et al.* (2004), analizó la propensión marginal a pagar por cambios en los niveles de ruido en relación con los cambios en el número de vuelos, para el aeropuerto de Estocolmo (Suecia), mediante un experimento de elección o *Choice Experiments*, usando 716 encuestas postales, que son metodologías en las cuales se someten a los encuestados a un escenario hipotético compuesto por un conjunto de elecciones posibles. De tal manera que cuando las personas realizan su elección, implícitamente revelan el equilibrio entre los niveles de atributos de cada opción, por lo que se logra estimar las variaciones en la DAP para diferentes momentos del día y días de la semana. Una conclusión importante de este estudio es que los valores marginales de DAP por cambios en los niveles de ruido, son más altos en horarios de mañana y tarde.

El ensayo de Bristow y Wardman (2006) ha revelado que la DAP por reducir el nivel de ruido aeroportuario varía significativamente en función del horario y del día de la semana, lo cual podría ayudar a mejorar la programación semanal de los despegues y aterrizajes. Esto es coherente con la teoría, puesto que el perjuicio no es lineal en el tiempo debido a que: las personas realizan diferentes actividades a diferentes horas y

días de la semana; el ciclo y estilo de vida condiciona las actividades que se realizan (al aire libre, por ejemplo); y el tráfico aéreo tiene fluctuaciones importantes, tanto por cambios en el número de operaciones como en las configuraciones de las pistas. De esta manera, la encuesta presencial realizada a 647 personas, reveló que la DAP sería para reducir el ruido nocturno (22:00-06:00); asimismo entre los días de la semana, el horario de tarde (18:00-22:00) también resultó especialmente sensible, es decir, la parte del día en que las personas se reúnen en casa después de sus actividades cotidianas; por el contrario, el horario de mañana (06:00-09:00) manifestó una escasa sensibilidad. En este sentido se realizó el estudio en tres ciudades con contextos socioeconómicos y problemáticas aeroportuarias diferentes (Manchester, Lyon y Bucarest), se pudo observar que en Lyon, donde hubo protestas importantes contra la ampliación del aeropuerto, la DAP se disparó hasta 25 euros por semana a favor de la alternativa más silenciosa, pero a la vez, la más cara, síntoma de un notorio sesgo estratégico; muy por el contrario en Bucarest, el análisis demostró una marcada preferencia por la alternativa más ruidosa y barata, debido a que los encuestados asocian una posible ampliación del aeropuerto con beneficios económicos, por ejemplo, puestos de trabajo directos e impulso a la actividad económica.

En el caso concreto del Aeropuerto del Prat, Riera y Macian (1999) realizaron un análisis coste/beneficio, incluyendo las externalidades ambientales, debido a la futura ampliación del aeropuerto. Básicamente, el estudio analizó la DAP del conjunto de beneficiados de dicha ampliación para compensar a los hogares afectados por el ruido provocado por la ampliación de la infraestructura. Resultó que sólo un 16% de los 800 encuestados estaba dispuesto a pagar para compensar a los hogares afectados. La compensación media que cada hogar afectado por año, recibiría era de 1.266 euros.

Una vez descrito los distintos métodos y estudios realizados en los últimos 40 años, y en lugares muy diversos del mundo, podemos formar una base desde la cual aproximarnos a nuestro objeto de estudio en la BA de Gando. Pero antes, necesitamos conocer una serie de datos (población, viviendas, decibelios producidos en la zona por las aeronaves militares, horarios de despeje/aterrizaje, topografía de la zona, dirección del viento, etc.), con los que obtendremos un resultado final de la minoración del valor en función de decibelio/tipología de la vivienda.

CAPÍTULO 3. IMPACTO DEL RUIDO AEROPORTUARIO: UNA APROXIMACIÓN AL VALOR DE MERCADO DE LAS VIVIENDAS ALEDAÑAS A LA BASE AÉREA DE GANDO

3.1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se muestra el desarrollo de la metodología seguida para la evaluación de los niveles sonoros mediante una descripción de los modelos empleados y los escenarios de simulación representados, haciendo una descripción del proceso de obtención del *Mapa Estratégico de Ruido*, destacando la zona de estudio en la que se analizan las características principales de las infraestructuras y el entorno territorial en el que se enclava desde el punto de vista demográfico y de usos del suelo; localización de los parámetros de entrada; y exposición de los valores objeto de estudio. Por último, se sintetizarán los datos obtenidos, se mostrarán los resultados de la exposición sonora y se cuantificará su depreciación, alcanzando finalmente una primera aproximación teórica sobre la depreciación económica de las viviendas en la zona de estudio.

3.2. MAPA ESTRATÉGICO DE RUIDO. DATOS DE ENTRADA DE LA BASE AÉREA DE GANDO

El *Mapa Estratégico de Ruido* diseñado en el 2005 para la BA de Gando permite evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, para distintas fuentes de ruido, y nos sirve para poder realizar predicciones para dicha zona. Al abordar el proceso de elaboración de un mapa de ruido es necesario determinar, en primer lugar, las características del mapa que se desea obtener:

- General o específico para una fuente. En nuestro caso los mapas reflejarán únicamente el ruido procedente de las operaciones de aterrizaje y despegue de las aeronaves militares, excluidos los helicópteros.
- Ámbito del mapa y altura sobre el suelo. La altura de evaluación será de 4 metros sobre el nivel del suelo y a intervalos de valores de L_{den} y L_{night} de 5 dB. Se incluye información sobre las ciudades, pueblos y aglomeraciones situadas dentro de las curvas de nivel correspondientes desde 55 dB hasta 70 dB.
- Escala de trabajo y precisión de los datos.
- Índices acústicos e información reflejados en el mapa. Se facilita también la superficie total, en km^2 expuesta a valores de L_{den} a partir de 60 dB(A).

De acuerdo con el artículo 9 del Real Decreto 1513/2005, el ámbito territorial que deberá ser analizado en detalle, alcanzará los puntos del entorno de los grandes aeropuertos en los que se alcancen los valores de inmisión de $L_{den} > 55$ dB(A) y $L_{night} > 50$ dB(A). Extrapolándolo a la BA, en este estudio, y ante la falta de legislación específica que establezca los límites admisibles de inmisión sonora, se ha tomado como referencia los límites de 65 dB(A) durante el período diurno y 55 dB(A) durante la noche, valores que establece la OMS como límite que no se debe superar por el ruido ambiental con carácter general.

Una vez determinadas estas cuestiones se selecciona la técnica que se va a emplear, que en nuestro caso, serán utilizados métodos de previsión con el programa INM (FAA, 1999; 2002). El área de estudio en la elaboración de los *Mapas Estratégicos de Ruido* viene delimitada por la ubicación de la BA, la disposición de sus

instalaciones; sus rutas de acceso aéreo y los niveles de tráfico que desarrolla; número y orientación de las pistas; definición de cabeceras de pista; temperatura, presión y humedad media anual; tipos de aeronaves implicadas; trayectorias visuales e instrumentales utilizadas; tipo y número anual de operaciones realizadas por aeronave, cabecera y trayectoria. Los dos datos últimos son los que entrañan más dificultad en obtener de las BA debido, fundamentalmente, a que las operaciones en una BA son muy diversas, fluctuando a lo largo del año.

Hay ruidos cuyo nivel de presión acústica se mantiene en el tiempo, así como su frecuencia, son los ruidos permanentes, como por ejemplo el producido por un motor de un grupo electrógeno que alimenta a un avión; los ruidos transitorios son los que varían sus características con el tiempo, como por ejemplo, el que se percibe en un punto al paso de un avión; además, existe el ruido impulsivo, que podemos definir como uno transitorio de muy corta duración, por ejemplo, el que se produce en el vuelo de un avión al sobrepasar la velocidad del sonido. La respuesta de las personas a estos tipos de ruido es muy diferente. De acuerdo con la Directiva Europea y el Real Decreto 1513/2005, para lograr estos objetivos el contenido de los *Mapas Estratégicos de Ruido* debe reflejar los datos relativos a los aspectos siguientes:

- Situación acústica existente, anterior o prevista expresada en función de un indicador de ruido.
- Superación de valores límite.
- Número estimado de viviendas, colegios y hospitales en una zona dada que están expuestos a valores específicos de un indicador de ruido.
- Número estimado de personas situadas en una zona expuesta al ruido.

3.2.1. UBICACIÓN

La BA de Gando forma parte primordial del MACAN y sus instalaciones están situadas a 23,72 metros sobre el nivel del mar, disponiendo de dos pistas (03L-21R y 03R-21L)⁴⁷ de aterrizaje y despegue de 3.100 metros de longitud cada una. En su interior se localiza la península de Gando, en la que predominan las pendientes suaves no superando el 15%. Los barrancos más importantes en la zona de estudio son los de Telde y Guayadeque (Ingenio). Por la zona central de la BA discurre el barranco de Malfú canalizado de forma subterránea bajo la infraestructura.

Con respecto a la hidrogeología, la BA se encuentra sobre una de las 10 masas de agua en que se subdivide el acuífero único de la isla⁴⁸. La zona de estudio se extiende sobre los términos municipales de Telde al norte de la BA; Ingenio, que asume la mayoría del terreno correspondiente a la BA y al aeropuerto de Gran Canaria; Agüimes y Santa Lucía de Tirajana al sur.

Gráfico 1. Foto aérea de la BA de Gando



Fuente: Google Earth, Abril 2014.

⁴⁷ API-ESPAÑA, AD 2 GCLP de 14 de Abril del 2005.

⁴⁸ Identificación y delimitación de las masas de agua subterránea según los criterios del punto 2.3.1. de la Instrucción de Planificación, aprobada el 10 de septiembre de 2008 mediante la Orden ARM/2656/2008, adaptados a la particularidad insular. Se ha tenido en cuenta la zonificación existente del *Plan Hidrológico Insular* aprobada en 1999 de acuerdo con la Ley 12/1990, por lo que se asume como simplificación la existencia de un único acuífero insular.

La vegetación presente en el territorio corresponde a un mosaico irregular de cultivos agrícolas y terrenos improductivos. El sector norte de las instalaciones militares limita con el lugar declarado como *Sitio de Interés Científico* de Tufia⁴⁹, abarcando 54,1 hectáreas del municipio de Telde, estando recogido dentro del listado de *Lugares de Interés Comunitario* (LIC en adelante)⁵⁰. El sector este limita con la playa de Gando, seguida de la Bahía de Gando, incluida en la Red Natura 2000 de la UE como *Zona Especial de Conservación*⁵¹. En el sector oeste de la BA, las formaciones vegetales son casi inexistentes, debido al gran desarrollo de infraestructuras, polígonos industriales y usos del suelo de tipo urbano o urbanizable.

⁴⁹ Artículo 22 del Decreto Legislativo 1/2000, de 8 de mayo, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales de Canarias.

⁵⁰ LIC ES7010028, aprobado previo acuerdo del *Gobierno de Canarias* del 7 de octubre de 1999, mediante Decisión del Consejo publicado en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas L5/16, de 9 de enero del 2002.

⁵¹ Orden ARM/2417/2011, de 30 de agosto, por la que se declara zonas especiales de conservación los lugares de importancia comunitaria de la región biogeográfica Macaronésica de la *Red Natura 2000* y se aprueban sus correspondientes medidas de conservación.

3.2.1.1. Zonificación y planificación

La Ley del Ruido establece la necesidad de estructurar el territorio en *áreas acústicas* entendiendo por tales, aquellas zonas del territorio que comparten idénticos objetivos de calidad acústica. La representación gráfica de las áreas acústicas sobre el territorio dará lugar a la cartografía de los objetivos de calidad acústica. Los mapas resultantes de esta representación gráfica se conciben como un instrumento importante para facilitar la aplicación de los valores límite de emisión e inmisión que ha de determinar el Gobierno.

En cada área acústica, deberán respetarse los valores límite que hagan posible el cumplimiento de los correspondientes objetivos de calidad acústica. De acuerdo al artículo 4 del mismo cuerpo legal, la delimitación de estas áreas es competencia del órgano que en su caso, decida la normativa autonómica. Estas áreas se clasificarán en atención al uso predominante del suelo y, según su artículo 7, considerarán, al menos, los descritos en la Tabla 7.

Tabla 7. Usos del suelo

CLASES	USOS PRINCIPALES
A	Residencial
B	Industrial
C	Recreativo y espectáculos
D	Terciario distinto al anterior
E	Sanitario, docente y cultural
F	Sistema general de infraestructuras de transporte, equipamientos públicos
G	Espacios naturales que requieran protección

Fuente: Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, artículo 7.

Debemos reseñar que en ninguno de los dos municipios, Telde e Ingenio, donde se ubica la BA, han elaborado, a fecha de realización de este estudio, una zonificación acústica de su término municipal de acuerdo con los criterios que establecen la Ley del Ruido. Para valorar la exposición de niveles en el entorno de un aeropuerto es importante analizar la distribución de usos existentes en el ámbito de estudio. La segregación de usos permitidos se extrae de los instrumentos de ordenación y planeamiento vigentes. A nivel supramunicipal, la política territorial de Gran Canaria se rige por la normativa que se cita a continuación:

- Leyes de Ordenación del Territorio de Canarias y de Espacios Naturales de Canarias, aprobadas mediante el Decreto Legislativo 1/2000 de la *Consejería de Política Territorial y Medio Ambiente del Gobierno de Canarias*.
- *Plan Insular de Ordenación de Gran Canaria*, aprobado definitivamente por el Decreto 277/2003 de la *Consejería de Medio Ambiente y Ordenación Territorial del Gobierno de Canarias*.

Sin embargo, las estrategias de planificación a nivel local se encuentran definidas en los instrumentos de ordenación municipal constituidos por los *Planes Generales de Ordenación Urbana* (PGOU en adelante) o las Normas Subsidiarias entre otros de menor nivel. Todos ellos están en proceso de adaptación o ya se han adaptado al instrumento comunitario de ordenación urbanística.

3.2.1.2. Clasificación y calificación del suelo

Cada uno de los municipios que engloba el ámbito de estudio, Agüimes, Ingenio, Santa Lucía de Tirajana y Telde, tienen sus propios PGOU diferenciados. Por este motivo, para poder efectuar una valoración de los resultados de exposición sonora de forma global, es necesario unificar los usos de acuerdo a criterios de similitud tanto desde el punto de vista de calificación como de clasificación. Para la asignación de una clasificación única se han recogido todas las categorías presentes en los PGOU, agrupando las coincidentes y descartando aquellas que no fueran de interés para el estudio. En aquellos en los que no aparecían subcategorías, se han englobado atendiendo al rango superior. La clasificación del territorio se ha dividido atendiendo a las dos variables básicas en los instrumentos de ordenación municipal:

- 1) *Caracterización de la clasificación del suelo.* Para realizar una clasificación del suelo conjunta es necesario contemplar las diferentes categorías de los municipios implicados. La normativa insular de Gran Canaria establece una categorización estándar que puede ser desarrollada para cada uno de los municipios. Dado que los municipios se han adaptado a esta norma, todos ellos cuentan de partida con una misma categorización. La legislación de Canarias determina las siguientes clases de suelo plasmadas en la Tabla 8.

Tabla 8. Superficies totales de clasificación de suelo en el área de estudio por municipios

SUPERFICIE POR CATEGORÍA (ha)					
MUNICIPIO	Urbano	Urbanizable sectorizado	Urbanizable no sectorizado	No urbanizable	No urbanizable protegido
Agüimes	163,61	12,34	-	386,91	29,09
Ingenio	48,10	18,09	-	408,26	17,89
Santa Lucía de Tirajana	-	56,23	59,10	154,83	-
Telde	14,63	1,25	-	338,75	105,33
TOTAL	226,34	87,91	59,10	1.288,75	152,30

Fuente: Ministerio de Fomento y AENA (2007). *Mapas Estratégicos de Ruido de los Grandes Aeropuertos. Aeropuerto de Gran Canaria*. Memoria mayo 2007, p. 28, febrero 2015.

La superficie del ámbito de estudio queda repartida casi equitativamente entre los cuatro municipios, siendo el de Santa Lucía de Tirajana el que posee

la menor porción de suelo afectado. El Municipio de Agüimes es el más afectado en relación a superficie urbanizable. El suelo categorizado como no urbanizable, que representa un 80% del total de la superficie analizada, se distribuye entre los cuatro municipios con una mayor presencia en Ingenio, donde gran parte de éste, se corresponde con el sistema general aeroportuario. Dentro de suelos no urbanizables protegidos cabe destacar la afección sobre las regiones costeras catalogadas como LIC⁵² de: Tufia, situado al norte de las instalaciones; la Bahía de Gando, situado en el propio corazón de la BA; y la *Punta de la Sal*, situado a 1,5 km al sur de la cabecera 03L. Además, nos encontramos situado a 3,5 Km al suroeste de la cabecera 03L otro LIC como es el Barranco de Guayadaque.

2) *Calificación del suelo*. Las categorías definidas en los usos del suelo son el resultado de tratar las tipologías recogidas en los planes generales de los cuatro municipios implicados. Sendos PGOU recogen una calificación del suelo pormenorizada. Sin embargo, tal nivel de detalle a efectos de la realización del *Mapa Estratégico de Ruido* no resulta necesario. Para cada una de las categorías que se detallan a continuación, dichos planes recogen a su vez más rangos de subdivisiones que no han sido contemplados en este estudio. Los usos del suelo que se han discriminado son:

- I. Residencial (R): uso del espacio construido que soporta como actividad principal el alojamiento permanente o temporal.
- II. Equipamientos: uso correspondiente a diferentes actividades, de carácter público, privado o colectivo, cuyo destino es satisfacer necesidades derivadas del uso residencial. Se han agrupado de la siguiente forma:
 - Docente (EQD): comprende los centros y terrenos destinados a fines educativos/culturales.

⁵² LIC ES7010048, ES7010052 y ES7010041 aprobado previo acuerdo del *Gobierno de Canarias* del 7 de octubre de 1999, mediante Decisión del *Consejo* publicado en el Diario Oficial de las *Comunidades Europeas* L5/16, de 9 de enero del 2002.

-Otros equipamientos (OEQ): engloba dotaciones administrativas, comerciales, sanitarias, etc.

- III. Industrial (I): uso corresponde a actividades productivas de transformación total o parcial de materias primas u otros productos elaborados.
- IV. Terciario (T): uso que reúne las actividades, de carácter público, privado o colectivo, que se destinan a las actividades de servicios.
- V. Espacios libres (EL): superficies no destinadas a la edificación que albergan jardines, espacios de ocio y zonas verdes, sin incluir las áreas deportivas.
- VI. Sistema General Aeroportuario (SGAe): porción de suelo ocupada por infraestructuras vinculadas a actividades aeroportuarias, de gestión, explotación del aeropuerto, o de desarrollo y conexión con los sistemas generales de transporte terrestre.

Tabla 9. Superficie por calificación de suelo existente en el área de estudio

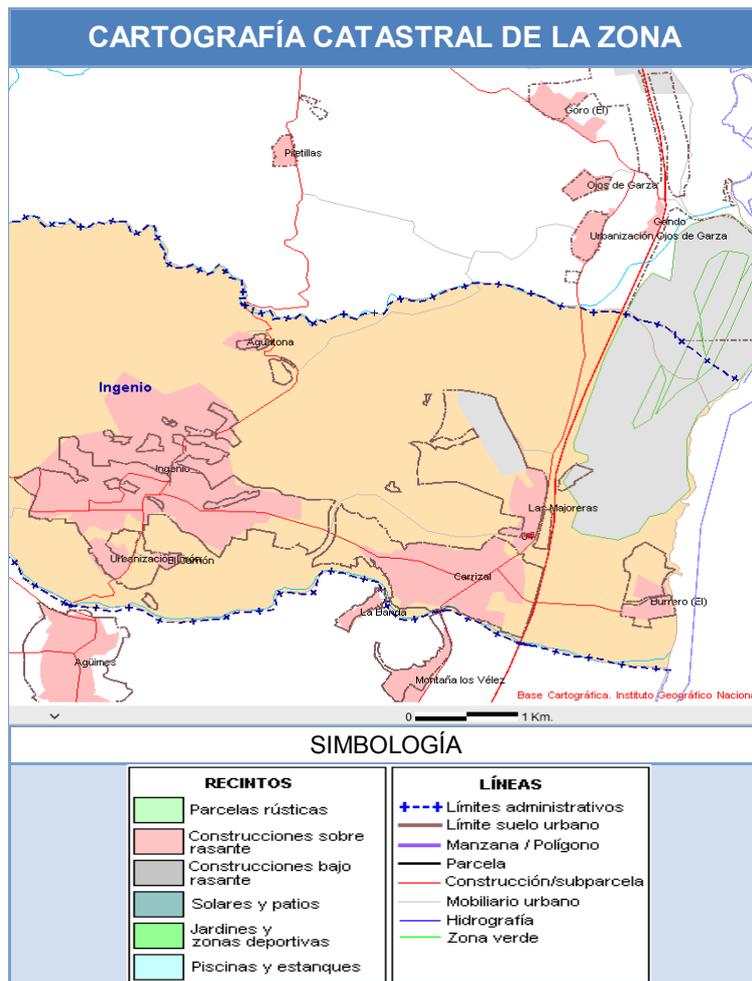
MUNICIPIO	SUPERFICIE POR CALIFICACIÓN (ha)						
	R	EQD	OEQ	I	T	EL	SGAe
Agüimes	10,60	0,10	8,16	119,79	0,08	37,23	-
Ingenio	38,94	1,16	3,35	-	17,57	5,17	285,16
Santa Lucía de Tirajana	0,08	-	59,10	56,15	-	-	-
Telde	4,82	2,89	0,67	5,73	0,94	0,83	328,37

Fuente: Ministerio de Fomento y AENA (2007). *Mapas Estratégicos de Ruido de los Grandes Aeropuertos. Aeropuerto de Gran Canaria. Memoria mayo 2007*, p. 29, febrero 2015.

De todos los usos mostrados en la Tabla 9, aquellos que mayor extensión alcanzan son el destinado al sistema general aeroportuario y el industrial, los cuales suman más del 80% del total de la superficie calificada en el ámbito de estudio. Estas cifras son tan elevadas debido a que no existe suelo calificado en casi la totalidad de la mitad norte de la zona de afección. Con respecto al suelo residencial, la mayor parte de él se localiza en el municipio de Ingenio, agrupado en los núcleos poblacionales de Las Majoreras, Las Puntillas, El Burrero y El Carrizal. El suelo industrial, cuya presencia destaca en Agüimes y Santa Lucía de Tirajana, queda representado en gran parte por

el Polígono Industrial de Arinaga. Por último, es importante significar que la categoría que menor superficie ocupa dentro del ámbito de estudio, apenas un 0,5% del total, es la destinada a EQD, particularmente sensible a los efectos de la contaminación acústica. Para este estudio, al igual que en varios de los PGOU analizados, este uso aparece de forma conjunta con el cultural, englobando en una misma categoría centros docentes, bibliotecas, museos y demás servicios de análoga finalidad.

Gráfico 2. Cartografía catastral del área de estudio según tipología del suelo



Fuente: Sede Electrónica del Catastro, <https://www.sedecatastro.gob.es/>, abril 2014.

3.2.1.3. Análisis demográfico

En la Tabla 10 se muestran los datos correspondientes a la población desde el año 2001 hasta el 2012 en los municipios de estudio, así como el censo de viviendas de uso residencial del año 2001 y 2012. Subrayamos que todos los datos fueron extraídos a 1 de enero de sus respectivos años.

Tabla 10. Población y viviendas totales de los municipios presentes en el área de estudio (provincia de Las Palmas)

MUNICIPIO / AÑO	POBLACIÓN			VIVIENDAS	
	2001	2005	2012	2001	2012
Agüimes	21.512	25.541	29.912	10.408	12.754
Ingenio	25.237	27.308	30.048	9.612	11.556
Telde	89.493	96.547	101.300	33.598	39.584
Santa Lucía de Tirajana	47.161	56.268	67.291	18.736	26.067

Fuente: Sede Electrónica del Catastro, <https://www.sedecatastro.gob.es/> e INE, <http://www.ine.es/>, abril 2014.

Se observa en todos los municipios que la población sigue una tendencia creciente durante todo el período, siendo Santa Lucía de Tirajana y Agüimes los núcleos con mayor índice de crecimiento. Como resultado de este trabajo, se ha obtenido la relación de centros educativos que mostramos en la Tabla 11. En referencia a los equipamientos sanitarios, no se ha localizado ningún hospital pero sí un centro de salud ubicado en la calle Poeta Vicente Aleixander, 9 en El Carrizal (Ingenio) a 2.358,44 metros de distancia del aeropuerto.

Tabla 11. Relación de centros educativos en la zona de estudio

Colegio	Ubicación		Distancia al aeropuerto (pista militar 03R) en metros
Liceo Francés "René Verneau"	Taliarte (Telde)	Crta de Taliarte s/n	7.854,10
CEIP "Barrio Costa"	Las Majoreras (Ingenio)	C/ Juan Medina Giraldo, 6	2.359,98
Colegio "Lucía Jiménez Oliva"	Ojos de Garza (Telde)	C/ Ojos de Garza s/n	1.991,70
Colegio "Claudio De la Torre"	El Carrizal (Ingenio)	C/ Juan de Austria s/n	2.410,32
IES "Carrizal"	El Carrizal (Ingenio)	Camino de la Florida s/n	3.919,11
Colegio "Chano Sánchez"	El Carrizal (Ingenio)	C/ Tomas de Iriarte, 5	3.729,61
Colegio "El Goro"	El Goro (Telde)	C/ Séneca, 16	2.885,58
Colegio "Montaña Los Vélez"	Montaña Los Vélez (Ingenio)	C/ Dalia s/n	4.689,48

Fuente: Sede Electrónica del Catastro, <https://www.sedecatastro.gob.es/> e INE, <http://www.ine.es/>, abril 2014.

Por otro lado, y a título informativo, el personal destinado en la BA tanto civil como militar a 1 de enero del año 2005 y a 1 de Julio del 2012, fue la siguiente:

Tabla 12. Personal destinado en la BA de Gando

PERSONAL	AÑO	
	2005	2012
Personal civil	162	153
Funcionario	22	20
Personal laboral	142	133
Personal militar*	1.204	1.054
Total	1.368	1.207

* Incluyendo a la Unidad Militar de Emergencias.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el Negociado de Contabilidad de la SEA 14 del MACAN, Departamento de Nóminas y Administración, obtenido del módulo de nóminas de personal (MOMPER). Datos no publicados.

Debemos destacar que dentro de la BA existen una serie de alojamientos distribuidos en tres pabellones⁵³ donde, tanto en el período de la realización del *Mapa Estratégico de Ruido* (2005) como en la fecha de realización de este estudio, existe una media constante de personal que tiene como residencia habitual dichos pabellones, independientemente de los períodos estivales y festivos nacionales que se pueden ver incrementado, así como por motivo de maniobras o ejercicios que impliquen el alojamiento puntual de personal de otras unidades. La distribución según pabellón y número de personas alojadas es:

1. Pabellón de Oficiales, situado en primera línea de costa de la Bahía de Gando, a 200 metros al este de la pista 03R-21L, alojadas un total de 12 personas.
2. Pabellón de Suboficiales, situado en primera línea de costa de la Bahía de Gando, a 250 metros al este de la pista 03R-21L, alojadas un total de 35 personas.

⁵³ Datos de referencia obtenidos para el año 2011, en el mes de marzo, de la Sección de Bienestar Social del Ala 46 de la BA de Gando.

3. Pabellón de Tropa, situado en las proximidades del Lazareto, a 550 metros al norte de la pista 03R-21L, alojadas un total de 53 personas.

Con todos estos datos, nos podemos hacer una idea muy acertada de la población potencialmente afectada por la contaminación acústica de las actividades aéreas militares emitidas en la BA de Gando.

3.2.2. DESCRIPCIÓN DE LAS TRAYECTORIAS

Se han considerado las trayectorias de despegue y aterrizaje recogidas en las cartas de navegación aérea suministradas por la Sección de Operaciones del Ala 46 de la BA de Gando. La utilización de trayectorias por cabecera de entre las representadas se ha realizado a partir del destino de las aeronaves desarrollado durante el año 2005. Se dispone del registro de la totalidad de las operaciones llevadas a cabo en las pistas de la BA durante el año 2005 por aeronaves militares, con una base de datos en los que figuran, entre otros, los atributos siguientes: tipo de operación, fecha y hora en la que ha tenido lugar, tipología de aeronave, matrícula, aeropuerto origen/destino, etc.

La *Publicación de Información Aeronáutica* (AIP en adelante) es el manual básico de información aeronáutica. Contiene la información de carácter permanente y cambios temporales de larga duración y su utilización es esencial para la navegación aérea y las operaciones aeroportuarias. La tercera parte del AIP consta de cuatro secciones que contienen información relativa a los aeródromos/helipuertos del territorio español y su utilización: datos geográficos y administrativos, características físicas, cartografía asociada, etc.

Del registro de la propia BA origen/destino, unido a la información proporcionada por la *Dirección Regional de Navegación Aérea*, se puede extraer la trayectoria probable que se asignará en control de tránsito aéreo de acuerdo a las cartas de navegación contenidas en el AIP. En este caso, todas las trayectorias de salida poseen un tramo inicial común hasta alcanzar una radio-ayuda fija que dista de las cabeceras de inicio de rodadura una distancia lo suficientemente elevada para que las isófonas resultantes no alcancen los citados puntos. Es por esta razón que se ha considerado una única trayectoria de despegue por cabecera coincidiendo con el citado tramo común, así como de aterrizaje.

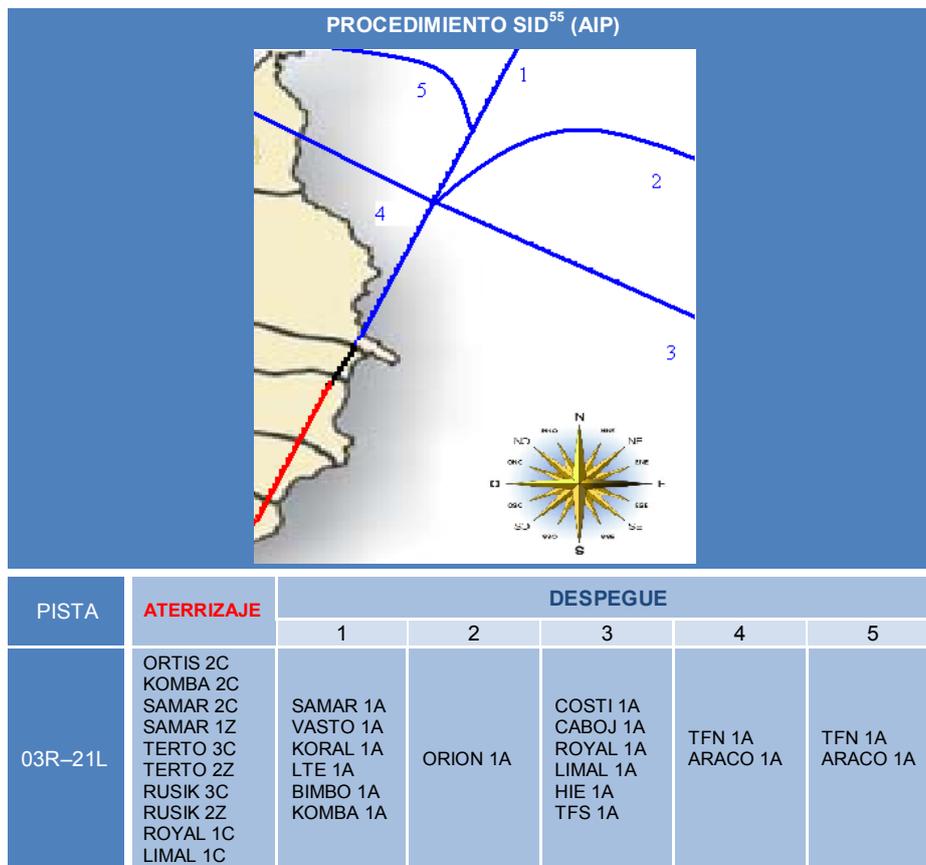
Para describir y representar este recorrido o *ruta nominal*, se utilizó la información publicada en el documento AIP en la fecha en que se ha llevado a cabo el cálculo del *Mapa Estratégico de Ruido*. Se trata de un documento que fija y describe el funcionamiento del aeropuerto desde el punto de vista operativo indicando las maniobras u operaciones que son permitidas o en su defecto prohibidas⁵⁴. Su

⁵⁴ Directiva 2002/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 26 de marzo de 2002, sobre el Establecimiento de Normas y Procedimientos para la Introducción de Restricciones Operativas relacionadas con el Ruido en los Aeropuertos Comunitarios. Y a nivel nacional, el

contenido es de obligado cumplimiento para la totalidad de agentes que operan en el aeropuerto, en especial las compañías aéreas. En él se distinguen, para cada una de las cabeceras, distintas rutas de acuerdo a los destinos y a la organización del espacio aéreo (Gráfico 3 y 4).

Tabla 13. Distribución de operaciones de aterrizaje y despegue por pista. BA de Gando

Gráfico 3. Trayectorias simuladas. Configuración noreste. Cabecera 03R



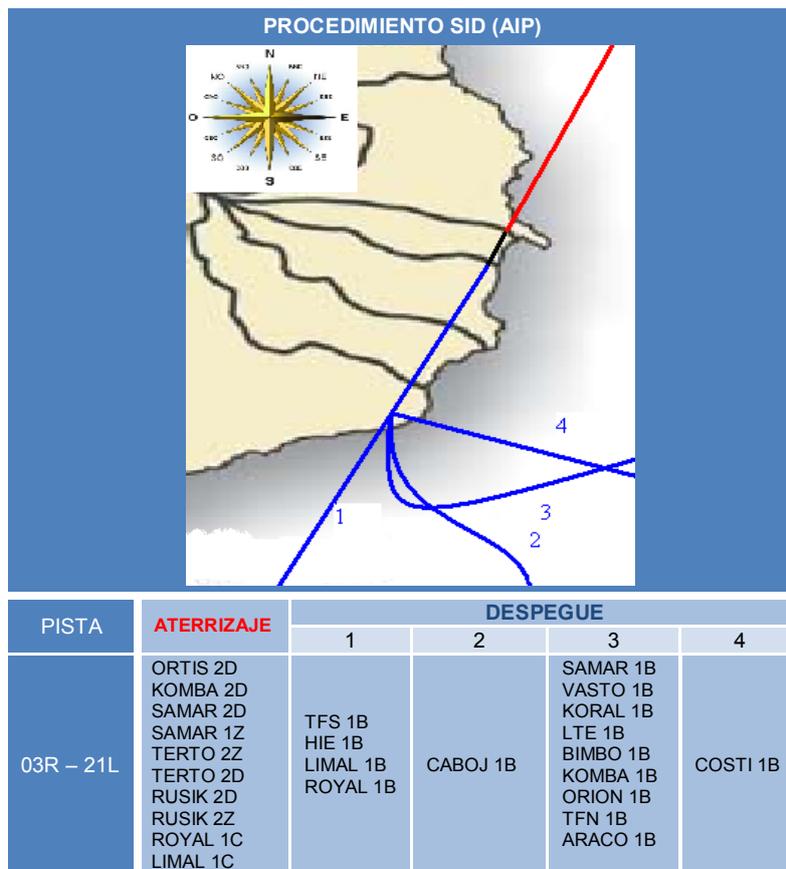
Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenida de AIP y de la Sección de Operaciones del Ala 46 en la BA de Gando, junio 2015.

Real Decreto 1257/2003 del Ministerio de la Presidencia por el que se regula los procedimientos para la introducción de restricciones operativas relacionadas con el ruido de los aeropuertos.

⁵⁵ Salida Instrumental Normalizada (*Standard Instrument Departure*), también conocida como Procedimientos de Salida (*Departure Procedures*). Las SID son las rutas seguidas por los aviones con un plan de vuelo IFR después de despegar. Las llamadas Reglas de Vuelo Instrumental o Reglas de Vuelo por Instrumentos (*Instrumental Flight Rules*) son el conjunto de normas y procedimientos recogidos en el Reglamento de Circulación Aérea que regulan el vuelo de aeronaves con base en el uso de instrumentos para la navegación, lo cual implica que no es necesario tener contacto visual con el terreno, como ocurre en el método de navegación bajo Reglas de Vuelo Visual (*Visual Flight Rules*).

El perfil de vuelo viene definido en el programa informático para cada operación y cada aeronave. Aunque estos perfiles de operación pueden ser modificados, para estudios de impacto sonoro no es adecuado hacerlo ya que los perfiles que se indican para cada aeronave (incluidos en la base de datos de INM) son los valores más adecuados para ellas. La descripción de la trayectoria en planta en dos dimensiones, viene dada por una serie de segmentos rectos o circulares de determinadas características que, unidos a una cabecera de pista, definen por completo la trayectoria. Cada trayectoria deberá ir ligada a un determinado tipo de operación que podrá ser de despegue o aterrizaje. Es importante mencionar que, en relación con los perfiles de vuelo y las trayectorias, se han tenido en cuenta las indicaciones por parte del personal perteneciente a la BA de Gando. Para clasificar las operaciones de aterrizaje o despegue de cada aeronave, primero es necesario establecer un criterio de salida o llegada por pista.

Gráfico 4. Trayectorias simuladas. Configuración suroeste. Cabecera 21L



Fuente: Elaboración propia a partir de la información obtenida de AIP y de la Sección de Operaciones del Ala 46 en la BA de Gando, junio 2014.

3.2.3. TEMPERATURA, PRESIÓN Y HUMEDAD MEDIA ANUAL

Sus óptimas condiciones meteorológicas han hecho que la BA de Gando tenga unas excelentes condiciones operativas durante 24 horas, todos los días del año. Esta circunstancia supone una garantía para los períodos de maniobras. Las principales variables meteorológicas relevantes para este estudio, en referencia a la propagación del sonido, son la temperatura, el viento, la humedad y la presión atmosférica.

Básicamente, las ondas sonoras se propagan mejor en el sentido en que se mueve el aire, formando líneas curvas hacia arriba, provocando zonas de sombra acústica, así como otras zonas de reforzamiento en función de la orografía del terreno y la temperatura; y modificando las trayectorias del sonido al producirse gradientes positivos del viento, es decir, al incrementarse la velocidad del viento con la altura. Como nos denota la rosa de los vientos en el período 1996-2005, el sentido predominante de la dirección del viento es el sur-suroeste que coincide prácticamente con la orientación de las pistas.

La velocidad del sonido depende de la temperatura, por lo que cualquier variación de ésta con la altura afectará a la propagación del sonido. Si la temperatura decrece con la altura, provocando que la velocidad del sonido también decrezca, las ondas sonoras se curvan con pendiente creciente, formando una zona de sombra sonora alrededor de la fuente. Sin embargo, en situación de inversión de temperatura (caso contrario), las ondas sonoras se curvan hacia el suelo, desapareciendo la zona de sombra y pudiendo ocasionar un aumento de 5 a 6 dB(A).

La localización del archipiélago determina que su clima sea el resultado de la alternancia de los anticiclones subtropicales, caracterizados por tiempo estable y seco, y borrascas atlánticas, menos frecuentes, que desencadenan un tiempo inestable y lluvioso. Se encuentra en la región insular del océano Atlántico, región Macaronésica, por lo que disfruta de un típico clima de carácter mediterráneo, o lo que es lo mismo, existe un largo período de aridez anual coincidente con la época más cálida del año.

Se ha realizado un análisis de los datos recogidos por la estación meteorológica de la BA de Gando para el período de estudio. De este análisis se deduce que la temperatura media anual en la BA se sitúa en torno a los 21°C. Las máximas medias mensuales no sobrepasan los 28°C y las mínimas no bajan de los 15°C. La oscilación térmica es muy pequeña debido al efecto regulador del mar y a la latitud de la isla. Los

valores medios de temperatura, humedad, presión y viento en cabecera utilizados para el estudio se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14. Temperatura, humedad y presión en la BA de Gando en el 2005

TEMPERATURA (c°)		HUMEDAD (%)	PRESIÓN (Mm Hg)	VIENTO EN CABECERA (Km/h)
Día – tarde – noche	27*	70**	759,97**	14,8***
Noche	27*			

Fuente: *AIP – ESPAÑA (AD2 – GCLP 3, 14 de abril del 2005).

** Centro meteorológico de la BA de Gando.

***Dato considerado por defecto en el programa INM.

3.2.4. TIPOS DE AERONAVES Y OPERACIONES

Los siguientes datos han sido recopilados del Estado Mayor del EA⁵⁶ (EMA en adelante) y la BA de Gando.

a) Aeronaves. Relación de las principales aeronaves militares que han operado en la BA de Gando en el año 2005 (no se han incluido los helicópteros):

1. Fokker F-27 -Maritime-, es una versión para misiones de búsqueda y salvamento del popular *Friendship*. Los F-27 tienen como misiones asignadas la vigilancia costera, búsqueda y salvamento, protección de la pesca, patrullaje anti-contrabando y defensa del medio ambiente. La equipación de este aparato consiste en unos completísimos equipos electrónicos de navegación y búsqueda (Tabla 15).

Tabla 15. Características técnicas del Fokker F-27

Dimensiones:	Longitud: 23,56 m.
	Envergadura: 29 m.
	Altura: 8,70 m.
Peso	Vacío: 12.745 kg.
	Máximo al despegue: 20.410 kg.
Velocidad	Máxima: 474 km/h
	Crucero: 460 km/h
Autonomía	Distancia: radio 1000 nm.
	Tiempo: 11 horas
Motor	2 rolls royce dart 536-7r
Empuje	2.250 CV
Techo máximo	8.960 m.

Fuente: Obtenido de la página web oficial del EA, <http://www.ejercitodelaire.mde.es/>, abril 2014.

2. Mc Donnell Douglas EF-18 Hornet (F-18), es un avión cazabombarderos bimotor de elevada capacidad de ataque y de penetración. Constituye un extraordinario sistema de armas con gran capacidad de evolución y capaz

⁵⁶ *Estado Mayor del EA*, órgano auxiliar de mando del Jefe de Estado Mayor del EA, División de Operaciones. Calle Romero Robledo 8, Madrid.

de cumplimentar tanto misiones aire-aire como aire-superficie con gran eficacia y alto nivel de disponibilidad (Tabla 16).

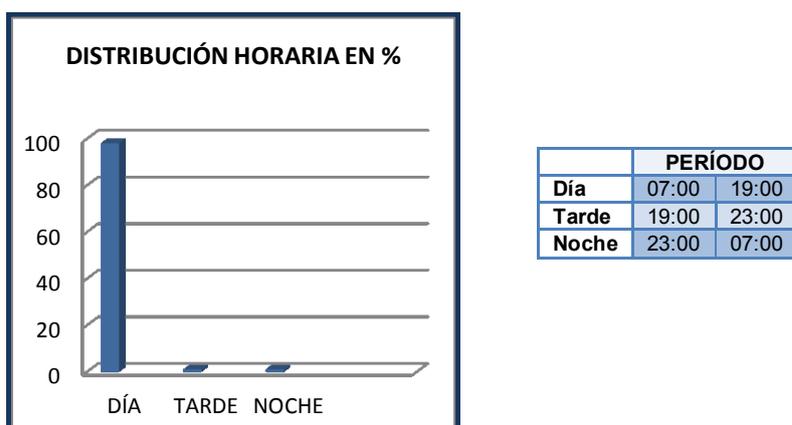
Tabla 16. Características técnicas del F-18

Dimensiones:	Longitud: 17,07 m.
	Envergadura: 11,43 m.
	Altura: 4,67 m.
Peso	Vacío: 12.701 kg.
	Máximo al despegue: 25.400 kg.
Velocidad	Máxima: 1.8 Mach
Autonomía	Distancia: 780 km. (ferry 3700 km.)
Motor	2 motores de doble flujo general electric f404
Empuje	7.258 kg. de empuje unitario con postquemador
Techo máximo	15.240 m.

Fuente: Obtenido de la página web oficial del EA, <http://www.ejercitodelaire.mde.es/>, abril 2014.

b) Operaciones. El número total de operaciones militares anuales consideradas es de 6.245. Este dato se ha calculado extrapolando a partir de los datos de un mes cualquiera del año 2005, cuyo tráfico aéreo es representativo del resto de los meses del año considerado. Del total de operaciones, el 95% son realizadas por F-18. En la Tabla 17 se muestra la distribución de las operaciones según la franja horaria en que se producen.

Tabla 17. Distribución horaria porcentual por períodos. BA de Gando, 2005

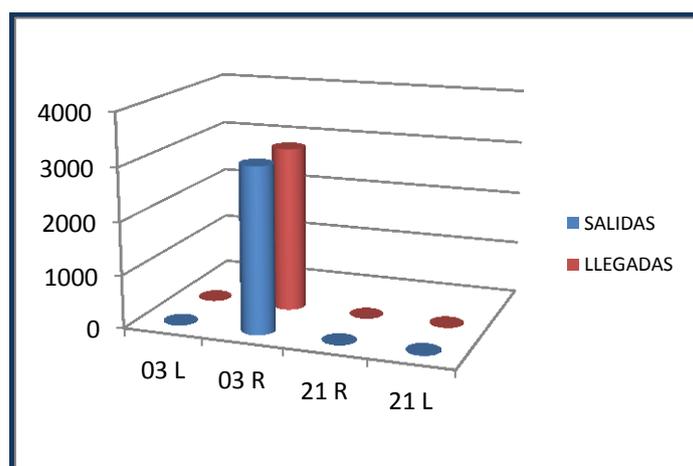


Fuente: Sección de operaciones Ala 46, BA de Gando. Datos no publicados.

El campo de vuelos existente para el escenario de cálculo, consta de dos pistas paralelas de hormigón asfáltico: 03L-21R y 03R-21L, ambas de 3.100 m de longitud y 45 metros de anchura. De acuerdo a la información suministrada por la BA y el Aeropuerto de Gran Canaria, la pista 03R-21L se utiliza para operaciones de naturaleza civil en casos excepcionales. Concretamente durante el año 2005 se empleó en un porcentaje del 2,67% y tuvo lugar casi íntegramente durante el mes de noviembre. Por este motivo, en el estudio se tendrá en cuenta únicamente la pista 03R-21L, ya que prácticamente, tuvo un uso casi exclusivamente militar. La distribución de operaciones por cabecera se expone en la siguiente tabla:

Tabla 18. Distribución de operaciones por cabecera. BA de Gando 2005

Cabeceras	03L	03R	21R	21L
Llegadas	10	3105	0	5
Salidas	10	3105	0	5



Fuente: Sección de Operaciones del Ala 46, BA de Gando. Datos no publicados.

La definición de la posición de las pistas existentes se realiza en base a las coordenadas y altitud de cada uno de los umbrales publicados en el AIP correspondiente al aeropuerto de Gran Canaria. Para el cálculo de los niveles sonoros en el escenario considerado se ha empleado el porcentaje habitual/medio de utilización de cabeceras que tuvo lugar durante el año 2005 en la pista 03R de uso casi exclusivo por aeronaves militares. Los datos de partida fueron suministrados por la Sección de Operaciones de la BA de Gando que proporcionó las estadísticas oficiales sobre planes de vuelo.

3.2.5. DATOS DEL AEROPUERTO CIVIL: AEROPUERTO DE GRAN CANARIA

El aeropuerto civil forma parte física de la BA de Gando de utilización conjunta de las pistas de vuelo, y es denominado Gran Canaria/Gando. En la actualidad, ocupa el quinto puesto de los aeropuertos españoles en cuanto al volumen de pasajeros, y el primero de las Islas Canarias. En el año 2005, superó los nueve millones ochocientos mil pasajeros, con un incremento del 3,8% respecto al 2004, registrándose en el citado año 2005 un total de 110.748 movimientos de aeronaves. Se prevé que el tráfico aéreo llegue a los 16,1 millones de pasajeros en el año 2025⁵⁷, lo que supone una tasa de crecimiento medio interanual del 2,7%. En cuanto al tráfico de aeronaves, las previsiones determinan que en el año 2025 se alcancen las 170.900 operaciones. Se trata de un aeropuerto de interés general para el Estado y es un aeropuerto civil internacional con categoría OACI, 4E. Con la utilización de las dos pistas habilita al aeropuerto a poder realizar un máximo operativo de 53 operaciones a la hora.

En las inmediaciones del Aeropuerto de Gran Canaria se encuentra el Centro de Control de Tránsito Aéreo de Canarias para el control de los vuelos que despegan, aterrizan o sobrevuelan espacio aéreo español y el otorgado a España por acuerdos internacionales. También tiene la función de garantizar la seguridad aérea.

En este estudio no se han tenido en cuenta el volumen de operaciones civiles que se produjeron en el Aeropuerto de Gran Canaria, ya que nos limitamos únicamente, a las aeronaves militares (reactores y aeroplanos).

⁵⁷ Resolución de 4 de diciembre de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto Ampliación del aeropuerto de Gran Canaria, Las Palmas, publicado en el BOE número 309, de 24 de Diciembre del 2009, p. 106792.

3.2.6. PRECIO DE LA VIVIENDA EN LA ZONA DE ESTUDIO

La evolución más reciente del mercado de la vivienda en España la podemos dividir en dos claros periodos: el expansivo que abarca desde 1997 a principios del 2007, acompañado de un considerable aumento de los precios de la vivienda y desembocando en lo que se conoció como “burbuja inmobiliaria”⁵⁸; y el que comprenden desde mediados del 2007 hasta la actualidad, con una clara tendencia contractiva. Son diversos los factores que influyeron tanto en la demanda como en la oferta de viviendas en España en ambos periodos.

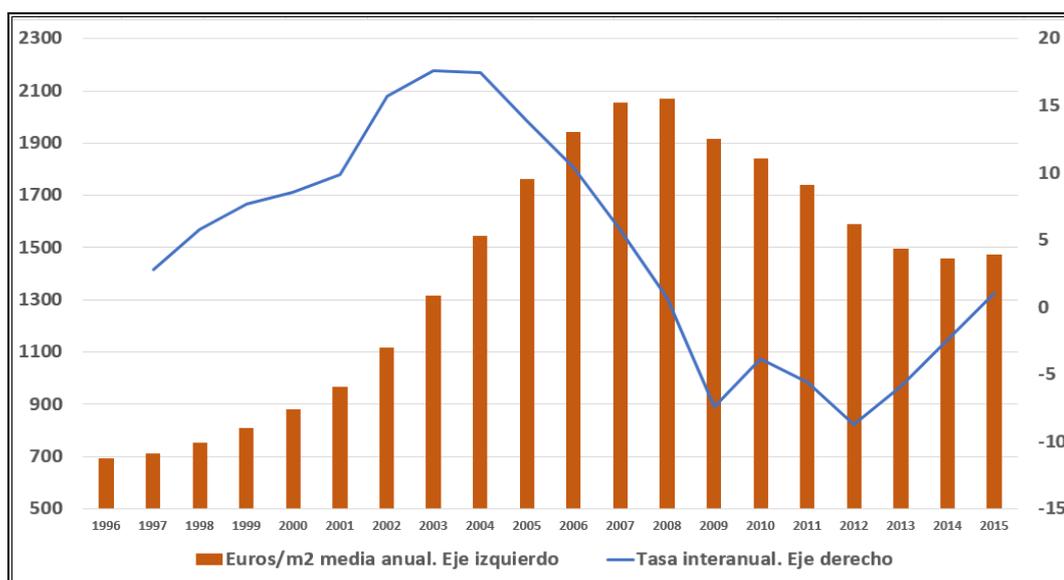
A partir del 2007 se comenzó a observar los primeros síntomas inequívocos de desaceleración, lo que se pone de manifiesto en la notable deflación en los precios de la vivienda, tanto nueva como de segunda mano como corrección a los elevados precios de los mismos acontecido en quinquenios anteriores, por alargamiento de los plazos de venta y por la disminución del número de transacciones.

Esa intensidad y dinamismo en el mercado inmobiliario español en el primer período es debido en gran medida a varios factores macroeconómicos favorables como la facilidad en el acceso al crédito hipotecario y la amplia duración de los mismos, muchos de ellos de alto riesgo y a tipo variable, lo que agravaría la situación posteriormente; el elevado ritmo de gasto público de las administraciones; el aumento considerable de la inmigración y de hogares; o la constante bajada de los tipos de interés; entre otros.

Según datos del Ministerio de Fomento que conforma estadísticas trimestrales sobre el precio medio por metro cuadrado de la vivienda libre (Gráfico 5), el aumento del precio del m² pasó de los 711,65 euros de media anual en 1997 a los 2.071,07 euros de media anual en el 2008, punto más alto del boom inmobiliario, con casi un aumento del 291% en términos nominales, mientras que en términos reales supero el 100%. Es decir, en términos reales, el precio medio de los inmuebles en España aumentó a una tasa media anual acumulativa superior al 7%.

⁵⁸ En 2003, la Comisión Europea advierte sobre la posible existencia de una burbuja especulativa y el Banco Central Europeo alerta sobre una corrección a la baja en los precios de la vivienda. A ello se le unieron diversas voces desde el mundo académico (García-Montalvo, 2003). Según Stiglitz (1990) existe una burbuja cuando el aumento del precio de un activo se debe únicamente a las expectativas de revalorización en el futuro de ese activo que tienen los inversores, en lugar de explicarse por la evolución de sus determinantes fundamentales.

Gráfico 5. Evolución del precio de la vivienda en España 1997-2015



Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Ministerio de Fomento, <http://www.fomento.gob.es/BE2/?nivel=2;yorden=35000000>, febrero 2016.

Desde otro punto de vista, en 1997 se iniciaron 258.377 viviendas en todo el territorio español y en el año 2006, el de mayor auge, fueron 664.923 viviendas, descendiendo a partir de esa fecha, siendo en 2013 con un total de 29.232 viviendas, el año con el menor crecimiento. A 31 de diciembre del 2015, el número de viviendas iniciadas aumentó a 41.872 viviendas y el stock de viviendas nuevas ascendió a 583.453 inmuebles, una reducción del 4,1% en relación al año anterior. La absorción por parte del mercado del stock de viviendas nuevas comenzó muy lentamente en el año 2010 hasta la actualidad que, continúa dicha tendencia. En la Comunidad Canaria se acumula un stock de viviendas nuevas terminadas desde el 2008 de 9.620 unidades. Concretamente, en la provincia de Las Palmas hay 4.978 viviendas nuevas deshabitadas. En Gran Canaria a 30 de junio del 2015, se sitúan en un índice de desocupación en torno al 30%, destacando Telde como municipio relevante en cuanto al número de viviendas construidas y a su notable tasa de desocupación, que supera el 50%. Otro municipio relevante en nuestro estudio, Ingenio se sitúa con una tasa de desocupación inferior a la media de la isla con un 25%⁵⁹.

Todo ello, trajo consigo una serie de consecuencias negativas, visibles en el segundo periodo para las economías familiares como fue el excesivo

⁵⁹ Datos del informe "Radiografía del stock de vivienda" de 2015 elaborado por TINSA. Véase para más información <https://www.tinsa.es/wp-content/uploads/informes/2015/Radiografia-stock-vivienda-2015-tinsa.pdf>.

sobreendeudamiento de las mismas para poder acceder a la compra de una vivienda. En 2007, se produjo la denominada “Crisis de las hipotecas *Subprime*” de alto riesgo en EEUU, catalogada como la peor crisis financiera mundial desde 1930, que se tradujo en una importante crisis de los mercados financieros y crediticios internacionales⁶⁰. La globalización de la economía y la diversificación de las entidades financieras provocaron, que en poco tiempo, esta crisis financiera se propagara por todos los mercados mundiales, aumentando la incertidumbre y restringiendo la liquidez, cuyos efectos se trasladaron a la economía real mundial, especialmente a partir de finales de 2007, donde se produjo el estallido de la burbuja inmobiliaria en España, y la entrada en recesión de todos los sectores de la economía. A diferencia de otras crisis periódicas asociadas a los ciclos económicos, respondió a una sobreabundancia y disponibilidad de crédito que hacía más vulnerable a España (Soros, 2008)⁶¹ que estimuló una sobreproducción de viviendas.

En este periodo de recesión, la demanda fue incapaz de absorber el stock de viviendas que se terminaban de construir como consecuencia de una desproporcionada oferta por una elevada sobre construcción de viviendas por motivos especulativos que fueron iniciadas en años anteriores. La vivienda ha sufrido una disminución del 30,2% desde 2008 hasta finales del 2013 según datos del Ministerio de Fomento. Del 2006 al 2012 el número de transacciones de compraventa pasó de 855.186 a 363.626 transacciones, lo que supuso una reducción del 61,9%. Otros aspectos relevantes fueron el recorte o contención por parte de las entidades financieras del crédito a familias y empresas; un deterioro significativo del mercado laboral; la finalización de la desgravación por compra de vivienda posteriores al 2013 en el IRPF; entre otros. La rigidez de los precios y la acumulación de stock sin vender son características recurrentes en las fases bajistas del mercado de la vivienda según Case y Quigley (2009).

Las consecuencias de estos periodos en la economía española fueron un aumento del endeudamiento de las familias, ratio que duplicó en menos de diez años y que

⁶⁰ Entre enero y marzo de 2007 más de cuarenta agencias que emitieron esta clase de hipotecas en EEUU cerraron o se declararon en quiebra (Shiller, 2009).

⁶¹ Este mismo autor enfatiza que la crisis actual no es solo el estallido de la burbuja inmobiliaria norteamericana, sino el de una superburbuja -ambas vinculadas- incubada en la globalización de los mercados financieros y en una simetría que desplazó los ahorros internacionales desde la periferia, donde solía ocurrir la mayoría de las crisis, al centro. Ello permitió que EEUU tuviese un déficit crónico de cuenta corriente acumulando deuda externa, mientras China y otros países acumulaban reservas externas.

llegó al 130% de la renta disponible de las familias en 2007; la alta demanda que la oferta no pudo cubrir por su rigidez provocó un fuerte aumento del precio de la vivienda desde 1997 hasta el 2007, donde se registró un aumento del 189% en términos nominales, casi un 115% descontando la inflación, generalizado en todo el territorio español, intensificándose en las zonas costeras y capitales de provincias; el encarecimiento paulatino de los tipos de interés impulsando cambios en las expectativas de los agentes sobre los precios esperados, que se tradujeron en una desaceleración del ritmo de crecimiento de los mismos en el segundo semestre del 2006; y por último, el fuerte aumento del consumo familiar en el periodo de auge, dio lugar a un descenso en la tasa de ahorro familiar, en otras palabras, el carácter creciente del volumen de ahorro destinado a cubrir la amortización de los préstamos hipotecarios ha ocasionado que el ahorro financiero restante de algunas familias haya incluso sido negativo en 2003 y 2005.

Tabla 19. Índice de precios de la vivienda nueva y de segunda mano Canarias-Total Nacional. Periodo 2007-2012. Medias anuales. Base 2007

ÍNDICE DE PRECIOS DE LA VIVIENDA NUEVA Y DE SEGUNDA MANO NACIONAL/CANARIAS⁶²					
VARIACIÓN % DE LAS MEDIAS ANUALES					
	2012	2011	2010	2009	2008
Total Nacional					
Vivienda nueva	-12,3	-5,2	-2,7	-4,1	4,2
Vivienda segunda mano	-14,8	-9,4	-1,2	-9,0	-6,2
Canarias					
Vivienda nueva	-12,3	-4,6	-3,0	-0,9	6,6
Vivienda segunda mano	-13,8	-6,6	-1,9	-6,9	-2,7

Fuente: Instituto Nacional de Estadística, <http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2184>, febrero 2016.

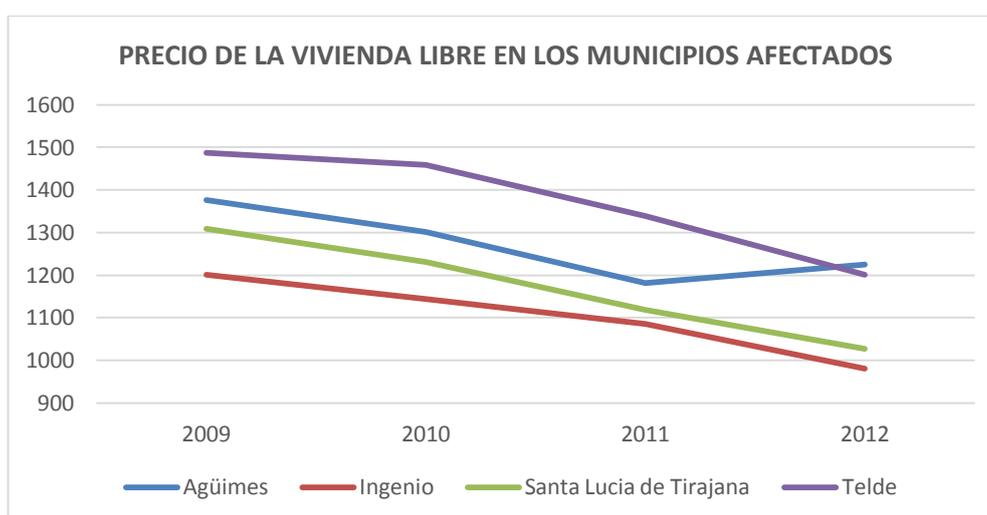
Una vez analizada la situación internacional y nacional previa, puntualizar que el sector residencial en la zona de estudio para el periodo concreto que tratamos, se caracteriza por una elevada proporción de viviendas en propiedad frente al alquiler y de una aparente dualidad entre la residencia habitual y una segunda vivienda vacacional. Además, la construcción de viviendas en bloque es la tipología más habitual con la ventaja del bajo consumo en suelo urbanizable. En la Tabla 20, se

⁶² La información recopilada por el INE procede de las bases de datos sobre viviendas escrituradas que proporciona el Consejo General del Notariado.

presentan los resultados correspondientes al índice de precios de las viviendas o estadística del precio del m² de las viviendas con más de dos años de antigüedad que predominan en la zona afectada. La referencia en esta ocasión son los resultados desde el años 2009 hasta el 2012 con base en el 2005. La fuente de información para su elaboración son los datos suministrados por la *Asociación Profesional de Sociedades de Valoración* (ATASA en adelante), entidad sin fines de lucro colaboradora con el Ministerio de Fomento y el Instituto Nacional de Estadística. ATASA coordina la recogida de la información y facilita trimestralmente los datos procedentes de las bases de datos de las empresas de valoración de inmuebles a la unidad promotora de la Estadística de Precios de Vivienda. Antes de la remisión de la información, ATASA realiza un trabajo previo de consistencia y validación de datos.

Tabla 20. Precio de la Vivienda Libre de los municipios afectados

PRECIOS DE LA VIVIENDA LIBRE DE LOS MUNICIPIOS AFECTADOS				
MUNICIPIO	Precios de las Viviendas euros/m ² anuales			
	2009	2010	2011	2012
Agüimes	1.375,78	1.301,43	1.181,60	1.225,40
Ingenio	1.200,55	1.144,00	1.086,23	980,63
Santa Lucía de Tirajana	1.308,85	1.231,48	1.118,40	1.027,00
Telde	1.486,60	1.458,65	1.338,90	1.201,18



Fuente: Ministerio de Fomento, Dirección General de Programación Económica y Presupuestaria, Subdirección General de Estadística y Estudios, <http://www.fomento.gob.es/BE2/?nivel=2yorden=35000000>, febrero 2016.

Para finalizar este apartado y dar mayor claridad a nuestra exposición de datos, señalaremos que este estudio abarca cuatro municipios de la isla de Gran Canaria: Santa Lucía de Tirajana, Telde, Ingenio y Agüimes. Nos hemos centrado en las poblaciones más cercanas a la BA y que, previsiblemente, están afectadas *a priori*, a distintos niveles, por la contaminación acústica de las aeronaves militares.

Con estos datos pretendemos contribuir a un mejor conocimiento del mercado inmobiliario, que reduzca la opacidad que ha caracterizado tradicionalmente a este sector y permita una mejor comprensión de los mecanismos que determinan la dinámica residencial, así como una valoración muy aproximada de la posterior pérdida de valor debido a los dB percibidos. Actualmente, el sector inmobiliario continúa con el proceso de ajuste iniciado con el estallido de la crisis económica con un elevado stock de viviendas, un notable desempleo en el sector de la construcción y significativas restricciones al crédito hipotecario. Por último, subrayar el fomento gubernamental de la rehabilitación de viviendas que se han venido incentivando en los distintos planes de viviendas⁶³.

⁶³ Texto Refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana, aprobado mediante Real Decreto Legislativo 7/2015; Plan estatal de vivienda y rehabilitación 2009-2012, aprobado por el Real Decreto 2066/2008, de 12 de diciembre; y Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016, aprobado por Real Decreto 233/2013, de 5 de abril.

3.2.7. ASOCIACIONES EN CONTRA DEL RUIDO EN LA ZONA

Debido a todos los factores descritos anteriormente y a la posibilidad de la aprobación de la ampliación de una tercera pista en el aeropuerto de Gran Canaria, con una posible variación en la configuración de las pistas, o incluso dentro de una misma configuración, un desvío respecto a la trayectoria de despegue y aterrizaje establecida, traería consigo una afectación de áreas y poblaciones diferentes o incrementaría en mayor medida la incidencia acústica de las actuales, motivo suficiente para que surjan diferencias entre asociaciones locales y públicas con intereses encontrados que complicaría la consecución de acuerdos satisfactorias para las partes implicadas.

Por un lado, nos encontramos con una asociación ciudadana sin ánimo de lucro en contra de la ampliación del aeropuerto de Gando⁶⁴, denominada *Asociación de Afectados por la Ampliación del Aeropuerto de Gando*, altamente activa en sus reivindicaciones. Lo que propone esta asociación, iniciada el 26 de octubre de 1999, es un convenio negociado entre el Ministerio de Fomento y AENA para reubicar a los numerosos vecinos expropiados del barrio de Ojos de Garza (Telde). Por ello, han llevado a cabo asambleas, gestiones para tratar de defender sus derechos y diversas huelgas de hambre. Por último, AENA se ratifica en la necesidad de ampliar el mismo pero retrasándola en el tiempo hasta el año 2025, sin que previamente se dé una solución a las personas afectadas por el expediente expropiatorio abierto.

Por otro lado, tenemos a la *Plataforma de Afectados por el Plan de Aislamiento Acústico del Aeropuerto de Gran Canaria* creada en el año 2013 en la Villa de Ingenio y con el apoyo del consistorio insular, continúa buscando apoyos en su lucha para que AENA agilice el proceso de insonorización de sus viviendas.

A pesar de las molestias que supone, la población local es consecuente con la necesidad de un aeropuerto como vía primordial de comunicación de la isla, así como de los beneficios que genera tanto la BA como el aeropuerto civil, no encontrándose grandes reticencias a la actividad tanto civil como militar, ni por parte de la población afectada ni por parte de las autoridades públicas.

⁶⁴ Resolución de 4 de diciembre de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto de Ampliación del aeropuerto de Gran Canaria, publicado en el BOE número 309 de diciembre del 2009.

Tabla 21. Nivel dB(A) aceptable y respuesta de la población por ruido

NIVEL dB(A) ACEPTABLE			RESPUESTA AL RUIDO	
Localización	L _{den}	L _{night}	dB(A) > nivel aceptable	Respuesta
Residencial Rural	35-40	25-35	0	Sin reacción
Residencial Suburbano	40-50	30-40	5	Quejas esporádicas
Residencial Urbano	45-55	35-45	10	Quejas habituales
Zona Comercial	55-65	45-55	15	Reacción notable
Zona Industrial	60-70	50-60	20	Reacción enérgica

Fuente: Tabla III, "What People Will Accept Without Undue Complaint", Tabla IV, "Estimated Community Response to Noise", *Orange County Health Department Report*, 1972 en Randall (2001), p. 314.

Una vez expuestos todos los datos anteriores, estamos en la disposición de realizar un análisis aproximado del objeto de estudio de este trabajo, que se llevará a cabo en el siguiente apartado.

3.3. CUANTIFICACIÓN SONORA EN LA ZONA

Para el cálculo de los niveles de ruido aplicando el modelo INM descrito en el capítulo anterior, se han asumido las siguientes consideraciones:

1. Para la introducción de los datos relativos a las operaciones de las aeronaves militares, se ha partido de los datos facilitados por la BA de Gando. Para calcular el número de operaciones anuales se ha extrapolado a partir de los datos expuestos en los apartados anteriores.
2. Las condiciones meteorológicas en relación con la propagación del sonido son temperatura y humedad estándar, velocidad del viento normalizada en cabecera de 14,8 km/h, y sin variaciones de la temperatura con la altura.
3. Terreno llano alrededor de la BA, calculando la atenuación debida al terreno de acuerdo con SAE AIR 1751, adoptada por ECAC⁶⁵.
4. Los mapas de ruido resultantes están calculados para una altura de 4 metros sobre la superficie.

A partir de los datos de entrada y la metodología descrita, se han calculado los niveles de ruido en el entorno de la BA para los dos índices seleccionados (L_{night} y L_{den}). Los resultados del impacto sonoro, y ante la falta de legislación que establezca los límites admisibles de inmisión sonora, se exhiben mediante mapas de ruido que representan los niveles de ruido originados mediante isófonas de nivel sonoro a partir de 60 dB(A) para el índice L_{den} , y a partir de 50 dB(A) para el índice L_{night} , valores 5 dB más restrictivos que los que establece la OMS como límite que no se debe superar por el ruido ambiental con carácter general. De forma resumida, se describen en la Tabla 22 un escenario para 2005 con los datos obtenidos de la Sección de Operaciones del Ala 46.

⁶⁵ Norma SAE AIR 1751 (1981): "Prediction Method for Lateral Attenuation of Airplane Noise during Takeoff and Landing", desarrollada por la Society of Automotive Engineers de EEUU, presentada en la *Conferencia Europea de Aviación Civil* (1986): "Standard Method of Computing Noise Contours Around Civil Airports", Doc. 29. Véase la cuarta edición publicada en diciembre del 2016 en <https://www.ecac-ceac.org/documents/10189/51566/1.+Doc29+4th+Edition+ Volume+1.pdf/09f07cf1-94ed-4907-9b4a-273167d184bf>.

Tabla 22. Simulaciones de los Mapas de Ruido. BA de Gando, escenario 2005

SIMULACIONES MAPAS DE RUIDO	
ÍNDICE ACÚSTICO	TRÁFICO MILITAR ESTIMADO
L_{den}	6.245 operaciones/año
L_{night}	60 operaciones/año

Fuente: Datos proporcionados por la Sección de Operaciones del Ala 46 de la BA de Gando para el escenario 2005. Datos no publicados.

La geometría de las isófonas es debida al efecto de las trayectorias de cálculo consideradas y al tráfico aéreo que se produzca por cada una de ellas. Los siguientes cuadros presentan la superficie afectada expresadas en hectáreas por distintos niveles de ruido L_{den} y L_{night} en intervalos de 5 dB(A) tanto en el interior de la BA con en su perímetro exterior, identificadas las isófonas en distintos colores (Tabla 23 y, Gráfico 6 y 7).

Tabla 23. Superficie afectada por hectáreas y nivel dB(A) en período L_{den}

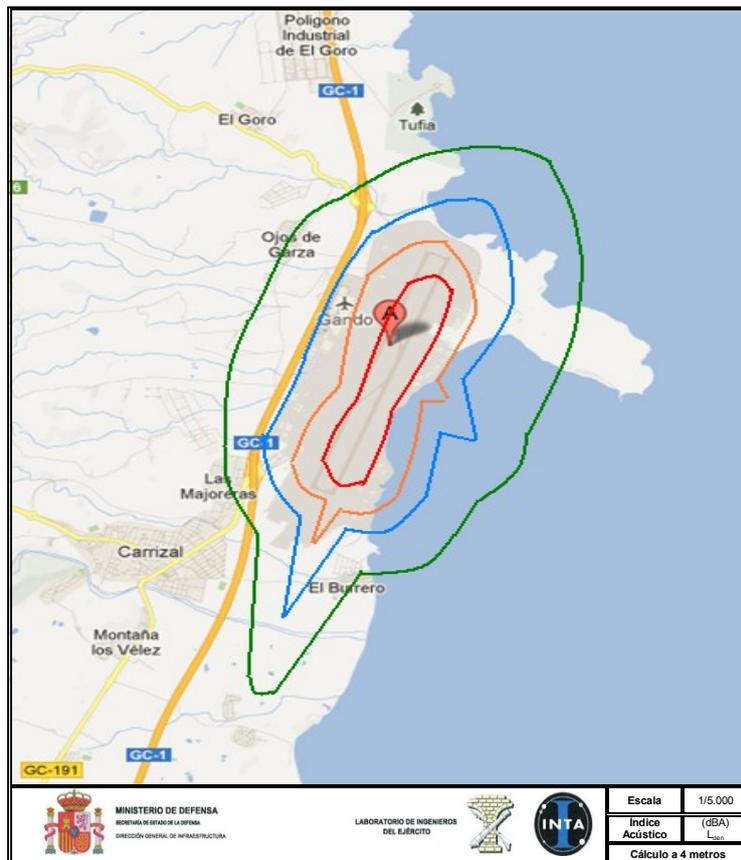
NIVEL (dBA)	COLOR	SUPERFICIE (ha)	INTERIOR BASE		EXTERIOR BASE*	
			ha	%	ha	%
60-65	Verde	1.050	514	49	544	51
65-70	Azul	440	256	60	184	40
70-75	Naranja	180	180	100	0	0
> 75	Rojo	200	200	100	0	0

(*) Sólo superficie de tierra, no incluimos la zona que afecta al mar.

Fuente: Ministerio de Defensa (2006). Mapa de Ruido de la Base Aérea de Gando, Gran Canaria, noviembre 2006, Dirección General de Infraestructura, Laboratorio de Ingenieros del Ejército, p. 40. Estudio no publicado.

Basándonos en la Gráfico 6, y centrándonos en la isófona de 60 a 65 dB(A) (color verde), en el período día-tarde-noche se observa que debido al mayor número de operaciones por la pista más cercana al mar (03R-21L), dicha isófona se encuentra centrada en el eje de dicha pista. Los municipios de Ingenio y Telde son, de forma clara, los más expuestos acústicamente a la actividad de la BA atendiendo a las superficies globales de afección desde los 55 dB(A) hasta los 70 dB(A). La mayor afección se concentra en el suelo no urbanizable sin protección, ya que el SGA ocupa gran parte de este tipo de suelo, así como cultivos agrarios. El suelo no urbanizable protegido se distribuye a lo largo de la línea de costa, y debido a la morfología sinuosa de la misma provoca una gran variabilidad de niveles sonoros, desde los 55 hasta alcanzar el rango de 65-70 dB(A) en una pequeña superficie que ni siquiera es apreciable gráficamente.

Gráfico 6. Superficie afectada indicador L_{den} , distribuidas las isófonas por colores



Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Defensa (2006). Mapa de Ruido de la Base Aérea de Gando, Gran Canaria, noviembre 2006, Dirección General de Infraestructura, Laboratorio de Ingenieros del Ejército, estudio no publicado, p. 40; y Google Earth.

El municipio de Telde manifiesta una gran variedad en los niveles sonoros presentes, alcanzando valores que exceden los 65 dB(A) en el suelo clasificado como no urbanizable, que incluye las instalaciones aeroportuarias civiles y militares. El suelo no urbanizable protegido se distribuye a lo largo de la costa, al norte de la huella soportando niveles desde 55 a 70 dB(A). El suelo urbanizable se localiza en las inmediaciones de suelo ocupado por viviendas en Taliarte y Tufia, localizándose asentamientos urbanos sometidos a niveles comprendidos entre 55 y 65 dB(A); y Ojos de Garza que alcanza en algunas viviendas hasta 70 dB(A). Destaca la presencia de un centro docente, el Liceo Francés “René Vernau”, situado en la isófona de menor rango, es decir, en 55-60 dB(A) para el indicador L_{den} . Además de los usos analizados están presentes el uso terciario, espacios libres y otros equipamientos todos ellos afectados por la isófona 55-60 dB(A).

En el municipio de Ingenio acentuamos el tipo de suelo residencial, tanto por la superficie ocupada como por los rangos alcanzados, atribuible a los núcleos de Las Puntillas, Las Majoreras, Carrizal y El Burrero. La totalidad de Carrizal, las Majoreras y El Burrero están expuestas mayoritariamente, al rango de 55-65 dB(A). Las Puntillas es, de todos los asentamientos afectados de este municipio, la más desfavorecida pues, aunque la mayoría de su superficie está comprendida en el intervalo de 60-65 dB(A), algunas viviendas llegan a alcanzar niveles próximos a 70 dB(A).

Aunque quede fuera del área de estudio, es importante resaltar la afección sobre equipamientos sensibles como el CEIP “Barrio Costa” y el Colegio “Lucia Jiménez Oliva”, concretamente en la localidad de Las Majoreras y Ojos de Garza respectivamente, que se sitúan muy cerca de la isófona 60 dB(A). Además de los usos mencionados, caracterizan a este municipio el terciario, los espacios libres y otros equipamientos. De todos ellos, incidimos en la superficie de uso terciario, la mayoría del mismo expuesto a niveles de 55-60 dB(A) y una pequeña parte a un rango superior de 60-65 dB(A).

En el municipio de Agüimes coexisten seis tipos de usos globales. De todos ellos predomina el industrial atribuible a la presencia del Polígono Industrial de Arinaga, que es la superficie afectada más extensa por rango, soportando niveles comprendidos entre 55-65 dB(A). También existe una parcela del territorio clasificada como urbanizable, al noroeste del polígono industrial, que contempla las perspectivas de crecimiento previstas. La superficie con uso residencial afectada es debida a la

presencia de las urbanizaciones Paraíso y Edén, ambas situadas al sureste de la BA. Esta última expuesta de forma íntegra a los niveles de 55-60 dB(A).

Con respecto a la Urbanización Paraíso, pese a no ser la más cercana a la BA, se sitúa alineada con las sendas de despegue y aterrizaje de forma que algunas de las viviendas se incluyen en un rango más desfavorable que el resto, entre 60-65 dB(A) (color verde) y, para algunas viviendas, entre 65-70 dB(A) (color azul). Asimismo, el planeamiento no prevé el crecimiento de esta zona residencial.

La afección principal sobre la clasificación del suelo en el municipio de Agüimes tiene lugar sobre el catalogado como no urbanizable ocupado en su mayoría por un conjunto montañoso que no supera cotas elevadas. Los niveles sonoros que pueden percibirse en este entorno oscilan entre los 55 y los 75 dB(A) alcanzando los mayores valores en el límite con el término municipal de Ingenio. No se ha detectado la presencia de áreas especialmente sensibles, es decir, centros de enseñanza u hospitales.

De los cuatro municipios afectados, Santa Lucía de Tirajana es el que menor variabilidad de usos presenta, tan sólo industrial y otros equipamientos, además de presentar la menor afección acústica y exclusivamente limitada a niveles inferiores a 65 dB(A) llegando, en las zonas más próximas al municipio vecino de Agüimes, a alcanzar valores de 60-65 dB(A) para el indicador de referencia. Sin embargo, se trata del municipio que mayor superficie de suelo urbanizable afectado presenta. Esta tipología se encuentra sometida a niveles sonoros comprendidos entre 55-60 dB(A) para el indicador L_{den} . Esta tipología de suelo se localiza en las inmediaciones del Polígono Industrial de Arinaga.

Aunque en la zona de estudio están presentes viviendas de tipo plurifamiliar, en buena parte de los enclaves afectados domina la tipología unifamiliar, esto provoca que, en un mismo número de viviendas, la población afectada sea menor. La afección sobre las viviendas diseminadas no es relevante en la zona de estudio ya que la presencia de este tipo de viviendas no es numerosa. Los niveles sonoros presentes en las viviendas existentes son muy variables al depender de su proximidad a las instalaciones aeroportuarias, así como a las trayectorias de despegue y aterrizaje. De manera resumida, los principales núcleos o entidades de población que resultan expuestos a los niveles analizados por indicador y municipio, son los que se presentan en la Tabla 24.

Tabla 24. Tipología de la vivienda predominante por municipio e isófona escenario 2012

MUNICIPIO/ NÚCLEO POBLACION	TIPOLOGÍA VIVIENDA PREDOMINANTE		CENSO POBLACIÓN / VIVIENDAS (2012)		ISÓFONAS	
	UNI FAMILIAR	PLURI FAMILIAR	Población Afectada	Viviendas Afectadas	LÍMITES dB(A) L_{den}	OBSERVACIONES
TELDE					55-70	
Taliarte	SI	SI	366	122	55-60	Se encuentra en ese intervalo el CIEP Liceo Francés "René Vernau".
Tufia	SI	NO	40	14	55-65	La mayoría de viviendas están entre 60 y 65 dB(A) y sólo una pequeña parte, entre 55 y 60 dB(A). Posible aumento de población al existir suelo urbano que podría suponer un problema acústico futuro y, viviendas diseminadas.
Ojos de Garza	SI	NO	2.935	978	60-70	Población muy concentrada en la costa, zona norte de la pista, en torno a 65 dB(A).
INGENIO					55-70	
Las Puntillas	SI	NO	279	93	60-70	Enclave más expuesto ya que predomina el rango de 65-70 dB(A), llegando algunas viviendas a superar los 70 dB(A).
Las Majoreiras	SI	SI	1.844	614	55-70	Presenta mayor variabilidad en la tipología de viviendas, concentrándose en los 60 dB(A).
Carrizal	SI	SI	12.606	4202	55-60	Mayor núcleo poblacional cercano a la BA, sin embargo, sólo una pequeña parte se encuentra en la zona de estudio. Crecimiento hacia la BA limitado, al no estar contemplado en su planeamiento y por la autovía GC-1. Además, se sitúa el CEIP Barrio Costa. Aunque no está dentro de la zona de estudio, el IES Carrizal se localiza muy cerca de los 55 dB(A).
El Burrero	SI	NO	1.248	416	60-65	Su desarrollo en dirección a la BA no está previsto por el planeamiento aprobado.
AGÜIMES					55-70	Buena parte de la superficie afectada pertenece al Polígono Industrial de Arinaga, uno de los centros industriales y zona franca más importantes a nivel estatal.
Urb. Paraíso	SI	NO	56	20	60-70	Pese a no ser la más cercana a la BA, se sitúa alineada con las sendas de despegue y aterrizaje de forma que algunas viviendas se incluyen en un rango de entre 65-70 dB(A). En el planeamiento no se prevé el crecimiento de esta zona residencial.
Urb. Edén	SI	NO	52	18	55-60	
SANTA LUCIA DE TIRAJANA	NO	NO	-	-	55-60	No existen grandes núcleos, tan sólo están presentes viviendas de tipo diseminado. Afectación mínima.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos recopilados de Ministerio de Fomento y AENA (2007). *Mapas Estratégicos de Ruido de los Grandes Aeropuertos, Aeropuerto de Gran Canaria, Memoria mayo 2007*, marzo 2016.

Durante el periodo nocturno (L_{night}), se obtienen una isófonas de considerable menor extensión que las resultantes para el indicador L_{den} , dado el escaso número de operaciones, los niveles fuera de los límites de la BA están por debajo de 40 dB(A). Aun así, debemos resaltar al personal militar alojado en los pabellones (cuadros amarillos del Gráfico 7) dentro del interior de la de la BA que soporta niveles de ruido tanto L_{den} y L_{night} superiores a 75 dB(A) (línea roja de la Gráfico 6 y 7), resaltando que la instalaciones están debidamente adaptadas y aisladas para soportar esa contaminación acústica, realizándose inversiones periódicas en acristalamientos y aislamiento acústico de habitaciones e instalaciones de esparcimiento, así como formación e información permanente a las personas alojadas en aspectos de protección contra la contaminación acústica.

Gráfico 7. Superficie afectada indicador L_{night} , distribuida la isófona por color escenario 2012



Fuente: Elaboración propia a partir de Ministerio de Defensa (2006). Mapa de Ruido de la Base Aérea de Gando, Gran Canaria, noviembre 2006, Dirección General de Infraestructura, Laboratorio de Ingenieros del Ejército, estudio no publicado, p. 41; y Google Earth.

Es evidente deducir de todo lo expuesto hasta el momento, que la intervención estatal en el terreno de la mitigación del ruido aeroportuario militar adquiere una relevancia fundamental, tanto desde un punto de vista preventivo, impidiendo la continua degradación del medio, como desde una perspectiva más positiva, remediando las consecuencias más negativas del deterioro ya producido. Es aquí donde un análisis coste-beneficio adecuado adquiere un papel fundamental.

Para conocer la relación existente entre la población expuesta y los dB percibidos, hemos utilizado los resultados del estudio de la *Commission on the Third London Airport y Roskill, E.* (1971), sobre la ampliación del tercer aeropuerto de Londres, así como las tablas de un estudio contrastado de la *Orange County Health Department* de EEUU sobre las reacciones de la población al ruido en función de los dB(A) percibidos, recogidos en el estudio de Randall (2001). En una y otra disertación se utilizaron una serie de tablas y datos clarificadores y comprensibles, factibles para ser extrapolables al aeropuerto de Gran Canaria y, por ende, a la BA de Gando, por las similitudes de ambos aeropuertos, así como la cercanía de la población afectada, salvando la diferencia en el volumen de viviendas afectas, que en las proximidades de las BA, es mucho menor.

Debemos tener en cuenta una serie de apreciaciones previas para finalizar el análisis. En primer lugar, en función de las recomendaciones de la OMS, para niveles de menos de 55 dB(A) día, consideramos que no existe ningún nivel de molestia o que éste no es apreciable por la población. En segundo lugar, hemos tenido en cuenta el nivel de aislamiento acústico de las viviendas estudiadas, que según el PAA de AENA, existen ejecutadas un total de 231 viviendas con un coste total de 3.796.000 euros. Estas viviendas, consideramos que no se verán afectadas por la pérdida de valor debido a las molestias del ruido ya que son compensadas con las inversiones realizadas en aislamiento. En tercer lugar, las viviendas aisladas son en su mayoría las más próximas al foco del ruido, y en las que primero se ha ido aplicando el PAA, estando totalmente finalizado en las mismas a la fecha de realización de este estudio. En cuarto lugar, las viviendas consideradas son de más de dos años de antigüedad, puntualizando que la mayoría de la zona presenta una antigüedad media de más de 10 años. Además, son todas de renta libre, ya que la cantidad de viviendas de protección oficial es mínima o despreciable. En quinto lugar, se observa la gran variación a la baja en el precio del m² de la vivienda en el área de estudio debido a la coyuntura económica subyacente explicada en profundidad en puntos anteriores.

Finalmente, no se tendrá en consideración la afectación al mercado del alquiler en este estudio.

Tabla 25. Intervalos de pérdida de valor euros/m² según núcleo urbano e isófona de afectación y respuesta de la población al ruido escenario 2012

MUNICIPIO	ISÓFONAS	VIVIENDAS RENTA LIBRE				NIVEL DE RUIDO dB(A)	RESPUESTA POBLACIÓN AL RUIDO	
		LÍMITES dB(A) L _{den}	Afectadas (2012)*	PAA Ejecutado (2012)**	Precio m ² (2012)***			Intervalos Pérdida Valor Euros / m ² ****
TELDE	55-70		112	1.201,18				
Taliarte	55-60	122			48,04	132,12	5	Quejas esporádicas
Tufia	55-65	14			144,14	204,20	10	Quejas habituales
Ojos de Garza	60-70	978			228,23	264,26	20	Reacción enérgica
INGENIO	55-70		91	980,63				
Las Puntillas	60-70	93			186,32	215,73	10	Quejas habituales
Las Majoreras	55-70	614			117,67	166,70	5	Quejas esporádicas
Carrizal	55-60	4.202			39,22	107,87	5	Quejas esporádicas
El Burrero	60- 65	416			117,67	166,70	5	Quejas esporádicas
AGÜIMES	55-65		28	1.225,40				
Urb. Paraíso	60-70	20			232,82	269,58	10	Quejas habituales
Urb. Edén	55-60	18			49,01	134,79	5	Quejas esporádicas
SANTA LUCIA DE TIRAJANA	55-60	-	0	1.027,00	10,27	30,81	10	Quejas habituales

*Datos obtenidos a partir del callejero INE de los distintos ayuntamientos, calculado en función del área afectada según la huella acústica alcanzada en nuestro estudio para el año 2012.

**AENA (2012). *Plan de Aislamiento Acústico del Aeropuerto de Gran Canaria. Informe ejecutivo del 14 de junio del 2012*. Declaración de Impacto ambiental del 14/03/2006 y del 04/12/2009, julio 2015

***Ministerio de Fomento, Dirección General de Programación Económica y Presupuestaria, Subdirección General de Estadística y Estudios, <http://www.fomento.gob.es/BE2/?nivel=2yorden=35000000>, febrero 2016.

****Commission of London's Third Airport, Papers and Proceedings VII, Part II, Results of the Research Team's Assessment y Furthur Research Team Work 51 en Randall (2001), pp. 321.

*****Tabla III, "What People Will Accept Without Undue Complaint", Tabla IV, "Estimated Community Response to Noise", Orange County Health Department Report, 1972 en Randall (2001), p. 314.

Fuente: Elaboración propia. Los datos utilizados son todos referenciados para el escenario de estudio, el año 2012.

Como resultado final de esta exposición teórica y basándonos en Randall (2001), podemos afirmar que, a medida que aumentamos el nivel de ruido que afectan a las viviendas, con el consiguiente incremento en el nivel de molestia, se produce una desvalorización de la propiedad directamente proporcional a la afectación recibida, medida en dB y representada con el índice L_{den} .

A continuación, sintetizaremos los datos obtenidos para el escenario 2012 y llevaremos a cabo una primera aproximación teórica sobre el objeto central de este estudio.

3.4. SÍNTETIZACIÓN DE LOS DATOS OBTENIDOS Y UNA PRIMERA APROXIMACIÓN TEÓRICA

Una vez expuestos los datos anteriores, este estudio previo teórico, evidencia la afectación en el precio de mercado de la vivienda de las residencias próximas a la BA de Gando. Los términos municipales que quedan comprendidos por el ámbito de estudio en el indicador L_{den} , son Telde, Ingenio, Agüimes y Santa Lucía de Tirajana. Se trata de un entorno caracterizado por el escaso grado de ocupación y por las extensiones de cultivos agrarios intercalados con polígonos industriales dispersos y pequeños núcleos residenciales costeros. Prácticamente la totalidad del suelo urbanizable se localiza en el término de Santa Lucía de Tirajana. Según las características atribuidas por el planeamiento en términos de calificación, no se prevé que este suelo tenga en un futuro carácter residencial sino industrial o destinado a equipamientos. La mayor parte de este suelo está sometido al menor rango de afectación según el indicador L_{den} .

Como zona de conflicto se definen aquellos sectores del territorio en los cuales no se verifican los objetivos de calidad acústica considerados y que, por tanto, afecta previsiblemente al valor de las viviendas. Se pueden distinguir claramente, que existen superaciones para los indicadores L_{den} en los siguientes enclaves, distribuidas en dos tipologías:

- 1) En suelo urbano consolidado se localizan varias zonas residenciales que pueden identificarse como zonas de conflicto y que hemos dividido en 4 grupos (Gráfico 8), considerando las viviendas unifamiliares de renta libre sin PAA:

Grupo 1. Afecta al mayor número de viviendas. Los valores se superan en tres enclaves: Taliarte, Carrizal y Urb. Edén, afectados, mayoritariamente, por la isófona enmarcada entre 55-60 dB(A). Ello supone un total de 4.342 viviendas aproximadamente, acarreado un descenso del precio del m^2 de entre un 4% y 11%, sobrepasándose estos valores en determinadas viviendas, dependiendo de la proximidad al extremo de la isófona en la que esté ubicada, es decir, a mayor isófona, mayor porcentaje de pérdida de valor del m^2 de las viviendas.

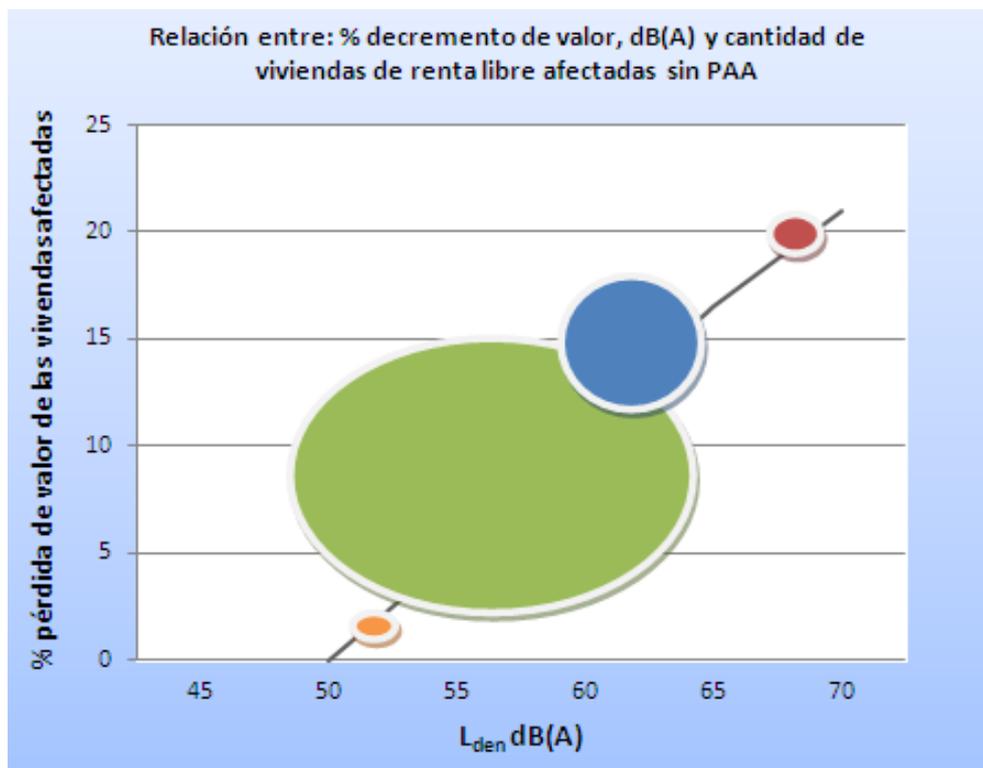
Grupo 2. Con ciertas viviendas especialmente afectadas. Los valores se superan en tres enclaves: El Burrero, afectado íntegramente por la isófona enmarcada entre 60-65 dB(A); Las Majorelas, con un margen más amplio de entre 55-70 dB(A); y Tufia, con isófonas de entre 55-65 dB(A). Influye a un total de 1.030 viviendas aproximadamente, suponiendo un descenso del precio del m² de entre 12% y 17% para la mayoría de las viviendas, alcanzándose un 20% en algunas viviendas diseminadas en Las Majorelas, pero que están sometidas o lo van a ser al PAA.

Grupo 3. Zona con mayor pérdida de valor. Las Puntillas, Ojos de Garza y Urbanización Paraíso, que mayoritariamente están afectadas por un rango de entre 60 y 70 dB(A), aunque una cantidad mínima de viviendas alcanzan valores de 70 dB(A). Las viviendas afectadas, unas 130, suponen una pérdida de valor de entre 19% y 22%, siendo las viviendas que soportan un mayor decremento de valor, a pesar de ser donde el PAA está más desarrollado.

Grupo 4. Zona menos afectada. La única zona de conflicto sobre suelo urbanizable se localiza al norte del municipio de Santa Lucía de Tirajana, bajo la calificación de otros equipamientos. En función del tipo de equipamiento que sobre él se desarrolle, se determinará su compatibilidad con el uso aeroportuario. Debe reseñarse que no se sobrepasan en ningún caso los objetivos de calidad. La pérdida de valor de las escasas viviendas residenciales diseminadas es de 1% a 3%.

- 2) Tanto los pabellones militares como la guardería de la BA, son lugares de alto riesgo en lo referente a la contaminación acústica. Aun así, recalcar que las inversiones realizadas por el MACAN, atenúan en gran medida, los altos dB a los que se ven sometidos, en isófonas de 65-75 dB(A) en casi todo el recinto aeroportuario militar.

Gráfico 8. Volumen de viviendas afectas por grupos según dB(A) recibidas escenario 2012



LEYENDA	
Grupo 1	Taliarte, Carrizal y Urb. Edén
Grupo 2	Tufía, Las Majoreras, El Burrero y Urb. Paraíso
Grupo 3	Las Puntillas y Ojos de Garza.
Grupo 4	Santa Lucia de Tirajana

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos de la Commission of London's Third Airport, Papers and Proceedings VII, Part II, Results of the Research Team's Assessment and Furthur Research Team Work 51 en Randall (2001), p. 321; y AENA (2012). *Plan de Aislamiento Acústico Aeropuerto de Gran Canaria. Informe ejecutivo del 14 de junio del 2012.*

La pérdida de valor de las viviendas en nuestro ámbito de estudio, serán mayores a medida que nos acerquemos al extremo superior de la isófona, de tal forma que, a mayor nivel de dB que repercute sobre la vivienda, mayor será el porcentaje de pérdida de valor. Por último, y en aras de una mejor exposición de esta conclusión, para una vivienda tipo de 90 m², sin PAA y de renta libre, la pérdida de valor puede oscilar, en función de la afectación acústica recibida y el municipio en el que se localice, desde los 3.530,26 euros para una vivienda situada en El Carrizal (Ingenio), hasta los 24.262,92 euros para una vivienda ubicada en la Urbanización Paraíso (Agüimes). Como se puede observar, nos enfrentamos ante un gran margen y una pérdida considerable para ciertas viviendas ubicadas en isófonas altas.

Las *huellas acústicas* obtenidas para el escenario 2005 están dominadas por las operaciones realizadas con reactores, aeronaves especialmente ruidosas. En general, los niveles de exposición predominantes en los núcleos urbanos se encuentran en el intervalo de 60-65 dB(A) para el indicador L_{den} , representando el 51% del total de la superficie afectada, sobre un total de superficie con índices superiores a 60 dB(A), y a una población aproximada de 6.362 personas entre civiles y militares, y unas 1.705 viviendas civiles durante el año 2011. Estos valores no suponen una afección acústica importante, aunque la pérdida de valor para estas viviendas por m^2 evidencia porcentajes superiores al 10%. Los niveles de exposición superiores a este valor únicamente tienen lugar sobre tres enclaves: Las Puntillas, Ojos de Garza y Urbanización Paraíso, donde algunas viviendas pueden llegar a superar los 70 dB(A) y una pérdida de valor de hasta un 22% por m^2 . Además, se han inventariado, de forma análoga, dos colegios expuestos a niveles superiores a 55 dB(A) para el indicador L_{den} en los términos municipales de Telde e Ingenio.

Para el indicador L_{den} , los municipios que mayor número de viviendas tienen incluidas en las isófonas representadas son Ingenio, Telde y Agüimes, por orden de importancia. En ellas la afección principal se encuentra recogida en el intervalo de 55 a 60 dB(A), ascendiendo al 67,25% del total de viviendas expuestas. El 19,23% del total de las viviendas inventariadas, perteneciente a los municipios anteriores, se encuentra sometido a niveles situados en el intervalo de 60 a 65 dB(A). Únicamente el 13,52% de las viviendas totales está expuesto a niveles superiores a los 65 dB(A). Se registran valores superiores a 65 dB(A) en aproximadamente una centena de viviendas situadas en Ojos de Garza, Las Puntillas y Urbanización Paraíso.

Destacar que según el indicador L_{night} , ninguna vivienda externa a la BA se ve afectada, debido en gran medida a la reducción de las operaciones aéreas nocturnas y a las trayectorias tomadas tanto en el despegue como en el aterrizaje. En relación con el tráfico nocturno, decir que las operaciones realizadas en el intervalo comprendido entre las 23:00 horas hasta las 07:00 horas, no alcanza el 1% de las totales. Insistir en que, a diferencia de la regularidad en las actividades desarrolladas en aeropuertos comerciales, las actividades que se realizan en las BA son muy variables, afectando considerablemente en la *huella acústica* final. Durante el período nocturno, no se encuentran viviendas externas a la BA afectadas por isófonas superiores a 40 dB(A).

Las isófonas resultado del estudio, tanto para el indicador L_{den} como para el L_{night} , tienen una forma claramente condicionada por la configuración preferente de las pistas

de la BA que establece la inmensa mayoría de los despegues y aterrizajes con rumbo norte. Por esta razón, las superficies obtenidas son de mayor anchura y longitud en esta dirección mientras que en sentido suroeste, la afección se encuentra más concentrada a las sendas de descenso empleadas en las operaciones de aterrizaje. En este caso, la superficie de isófonas con repercusión en el territorio es reducida, al derivarse rápidamente las trayectorias hacia la costa para eliminar así, la posible afección en las viviendas próximas a la BA de Gando, repercutiendo en menor medida en el mercado inmobiliario de la zona.

Una vez realizada una aproximación teórica y obtenidos los niveles de contaminación por ruido representativos de la zona de estudio y, que han sido seleccionadas para la presente investigación, podemos continuar con un estudio empírico/práctico empleando la econometría, donde incluiremos más variables que afectan al precio de la vivienda y nos arrojará unos datos más próximos a la realidad económica del objeto de estudio, para finalmente, establecer un modelo econométrico que incluya a los impactos ambientales para la determinación del valor marginal de las viviendas.

CAPÍTULO 4. APROXIMACIÓN ECONOMETRICA A TRAVÉS DE PRECIOS HEDÓNICOS PARA LAS VIVIENDAS EN EL ENTORNO RESIDENCIAL DE LA BASE AÉREA DE GANDO

4.1. INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO INICIAL

En este capítulo, se propone un modelo econométrico susceptible de explicar el problema objeto de estudio mediante un análisis de regresión hedónica, con una consideración específica de la variable ambiental *contaminación acústica*. El capítulo se estructura en cuatro epígrafes, al margen de esta introducción, en la que se realiza un planteamiento inicial relacionado con el objetivo principal del trabajo. A continuación, se analiza el mercado de la vivienda en la zona y el modelo econométrico planteado, con especial referencia a la teoría reciente subyacente. El siguiente epígrafe describe las variables, su construcción y la muestra sobre la que se lleva a cabo la estimación. El apartado quinto presenta los resultados de la especificación elegida y los contrastes de robustez que permiten validar el modelo. El capítulo finaliza con un análisis de predicción con el modelo seleccionado.

Con los datos obtenidos en la primera parte sobre el *Mapa Estratégico de Ruido* y los alcanzados con la observación, experimentación y el análisis empírico del área de estudio, se interpretaron los resultados y se delimitación las zonas de conflicto en las que se superaban los objetivos de calidad acústica propuestos y que afectaban al valor de las viviendas residenciales de la zona. Se obtuvo una función significativa de PH final semilogarítmica, se extrajeron los precios implícitos marginales de cada variable que resultó significativa para explicar el precio de las viviendas en nuestra zona de estudio, se interpretaron los coeficientes que acompañaron a cada variable explicativa que resultó estadísticamente significativa según nuestro criterio al 5% de significación y se llevó a cabo una predicción de las últimas 11 observaciones de la muestra. Los resultados muestran que la variable contaminación acústica emitida por las aeronaves militares tiene un claro efecto positivo sobre el precio de las viviendas cuando están comprendidas entre 55 y 70 dB. El motivo de este resultado lo desarrollamos en las conclusiones finales.

Generalmente, las políticas económicas están basadas tanto en aspectos teóricos como empíricos relacionados con el asunto que se está tratando. Por un lado, la teoría económica describe la realidad del fenómeno, muestra el tipo de relación entre las variables relevantes, aporta los principios básicos que explican su comportamiento y

su forma funcional y, predice las posibles consecuencias de las medidas tomadas. Por otro lado, la evidencia empírica nos ofrece la relación ajustada que existe entre las variables seleccionadas con respecto a un acontecimiento económico concreto, aspecto este plasmado en capítulos anteriores.

La utilización de un modelo de regresión lineal simple no es del todo el más oportuno para modelizar la mayoría de los fenómenos económicos, ya que para explicar una variable económica concreta se requiere, en general, tener en cuenta más de un factor. En la construcción de un modelo de regresión múltiple, la selección de las variables explicativas o regresores más apropiados, que definirán el comportamiento de la endógena, se posiciona como un punto crucial en la formalización del modelo econométrico.

La inclusión de variables explicativas irrelevantes o la omisión de otras, puede tener repercusiones negativas o distorsionadoras de los resultados del modelo. Siempre será menos perjudicial incluir variables irrelevantes que omitirlas puesto que lo primero solo afecta a la eficiencia mientras que lo segundo puede tener efectos sobre la consistencia. En definitiva, dada una variable dependiente (Y), un conjunto de posibles (k) regresores o variables explicativas potenciales (X_{1i}, \dots, X_{ki}) y una perturbación aleatoria o error (u), el objetivo que se plantea es encontrar el mejor modelo poblacional de regresión lineal múltiple para una muestra de ($i=1, \dots, \dots N$) de la forma:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i, \quad i = 1, \dots, n$$

Una vez estimado el modelo econométrico que mejor se adapta a nuestra realidad, se debe someter a un proceso de validación estadística. Dicha validación surge como fruto de que el modelo supera una serie de pruebas estadísticas y econométricas⁶⁶. El objetivo básico consiste, por tanto, en estudiar de qué variables depende el valor de mercado de las viviendas aledañas a la BA de Gando y que están afectadas por la contaminación acústica de aeronaves militares y, definir el comportamiento de la variable independiente, mediante el uso del método de PH. Evidentemente, en todo este proceso existe una plausible apreciación subjetiva en cuanto a la elección final del modelo, ya que mediante las aproximaciones sucesivas se van recabando modelos

⁶⁶ A lo largo del estudio se ha utilizado el programa Grelt. Se utilizan las rutinas de estimación básicas y, en particular, MCO con selección de variables por aproximaciones sucesivas.

con determinadas pruebas estadísticas globales e individuales de cada variable, sin señalar un modelo óptimo único.

En definitiva, el objetivo de este apartado es descubrir los atributos y sus precios implícitos, que mejor expliquen el precio de venta de los inmuebles en la zona, considerando el ambiental, la contaminación acústica, como uno de los más relevantes para nuestro estudio para, posteriormente, presentar el modelo como una referencia para ser empleado, no solo para explicar el comportamiento de la variable endógena, sino que además, pueda ser utilizado para orientar la política ambiental en materia de contaminación acústica en las bases aéreas militares españolas, así como para hacer pronósticos sobre su comportamiento con base a escenarios de ocurrencia sobre aquellas variables explicativas incluidas en el modelo, todo lo cual en su conjunto, pueda servir de soporte teórico/práctico para formular políticas futuras de actuación y paliación del problema de la contaminación acústica militar.

4.2. EL MODELO DE PRECIOS HEDÓNICOS Y EL MERCADO DE LA VIVIENDA

Con Lancaster (1966) y su *nuevo enfoque a la teoría del consumidor*, se produjo un punto de inflexión en la consideración de la utilidad de ciertos bienes, en los que se primaba las características de dicho bien sobre su valor implícito. Junto con el desarrollo de esta nueva aproximación elaborado por Griliches (1971) y Rosen (1974), se originó la base teórica para la aplicación de la metodología de PH y bienes que derivan su valor de sus características o atributos. Pero es Rosen (1974) el primero en proporcionar un tratamiento formal y unificado del modelo teórico de los mercados implícitos subyacentes en el modelo de PH.

Las ideas principales que se extrajeron de esta nueva perspectiva fueron que todos los bienes tienen una serie de características o atributos, en ocasiones compartidas con otros bienes, que son los que entran en la función de utilidad individual y, que los bienes combinados poseen distintas características que si los considerásemos individualmente por separado. Obviamente, fue un primer paso donde se sentaron las bases de lo que hoy se conoce como los modelos de PH. Por último, no debemos olvidar que Freeman (1979) facilitó la primera justificación teórica para la aplicación de esta metodología al mercado de la vivienda.

La vivienda presenta una serie de características intrínsecas que las diferencian unas de otras (metros cuadrados construidos, número de habitaciones, materiales utilizados en su construcción, presencia de garaje, etc.), de ahí su heterogeneidad y singularidad que afectan a su valor diferencial, incluso en una misma área geográfica (Schnare y Struyk, 1976; Dubin y Sung, 1987; Goodman, 1988, 1998; Michaels y Smith, 1990). Además, tiene gran relevancia en su precio su localización (cercanía centros comerciales, ambulatorios, zonas verdes y ajardinadas, escasez de terreno urbanizable, etc.), que tiene una gran incidencia sobre la variación de los precios si bien, en ocasiones, no se le ha dado la atención necesaria en aplicaciones hedónicas (Bowen *et al.*, 2001). Por último, el inmueble, normalmente, no se puede trasladar o mover sin causarle daños, por lo que su localización se considera fija, es decir, está unido al terreno de modo inseparable, tanto física como jurídicamente.

Circunstancialmente, los demandantes consideran la vivienda como una inversión más que como un bien de consumo o de primera necesidad, debido, entre otras cosas, a su durabilidad en el tiempo y a la posibilidad de especular con su precio. No debemos olvidar los altos costes de financiación hipotecaria y de transacción (notaría,

impuestos, costes de gestión, etc.) que suponen la adquisición de una vivienda en relación con las rentas de una familia media, de ahí, la influencia relevante que poseen los intermediarios financieros en dicho mercado. Otro aspecto a destacar es el carácter cíclico del mercado de la vivienda con períodos de inflación y deflación muy atenuados en el precio del mismo, mayor si cabe, en el mercado español en las últimas décadas (Naredo, 2010). Por último, también más acentuado en el caso español, es la tenencia en propiedad de la vivienda⁶⁷, complicando el acceso a jóvenes o sectores del mercado con bajo poder adquisitivo. En definitiva, la vivienda posee una serie de características que influyen considerablemente en su precio (Garrod y Willis, 1992; Riera, 1994; Palmquist, 1984, 2003).

La teoría de PH aporta aspectos relevantes para realizar análisis de bienestar a partir de los distintos precios observados, sobre todo en la adquisición de vivienda, es decir, este método revela una relación entre el precio de un bien heterogéneo como es un inmueble, y las características diferenciadoras socioeconómicas que él contiene (Freeman, 1992; Azqueta, 2007), además de intentar discriminar la importancia cuantitativa de cada uno de los atributos o características que la conforman con un precio implícito determinado. El establecimiento de estos precios implícitos, posibilita alcanzar la DAP por una unidad adicional de ese atributo o característica.

Como afirma Freeman (1992), cuando un consumidor adquiere una vivienda, el individuo examina los atributos del mismo, tales como sus características estructurales (superficie construida, número de habitaciones y/o baños/aseos, calidad de los materiales, terminaciones, disponibilidad de garaje, etc.), las características del entorno o económico-sociales (cercanía a las vías de acceso, a parques, a supermercados, seguridad, calidad ambiental, hospitales, etc.) o las características ambientales (contaminación atmosférica o acústica, presencia de residuos peligrosos cercanos, etc.). A pesar de que algunos de estos atributos carecen de un precio de mercado, su valor está implícito en el precio total de la vivienda y la condicionan debido a la importancia relativa que le concede el individuo. En conclusión y para nuestro estudio, la búsqueda de ese valor subjetivo de estos atributos, y concretamente, el de la contaminación acústica aeronáutica militar, constituye la piedra angular en la valoración final de las viviendas con el método de PH en nuestra zona de estudio.

⁶⁷ Véase el artículo estadístico de Eurostat Statistics Explained (2014) en su enlace http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Housing_statistics/es.

La mayoría de los estudios hedónicos referentes a la vivienda se han realizado mediante la metodología de corte transversal. Igualmente, es habitual utilizar una sola variable ambiental en el estudio para evitar una posible correlación (Hanley y Spash, 1993), hecho que hemos tenido en cuenta en el modelo. Por último, debido a la gran heterogeneidad del mercado de la vivienda, incluso en una misma área metropolitana, algunos autores (Schnare y Struyk, 1976; Goodman, 1988, 1998; Michaels y Smith, 1990; Bourassa *et al.*, 1999) han optado por dividir en distintos submercados o áreas para su estudio.

Podemos verificar en diversos estudios que expondremos en este párrafo y sucesivos, que las aplicaciones del modelo hedónico al estudio de los precios de las viviendas, comienzan a ser ya relativamente importantes en la literatura económica española de la década de los noventa y principios de este siglo. Asimismo, se puede constatar que cada investigador adopta su propia solución a las cuestiones metodológicas que se plantean. En este sentido, merecen ser mencionados, además del trabajo de Peña y Ruiz-Castillo (1984) que utilizaron como endógena el precio de alquiler en la ciudad de Madrid; el estudio de Caridad y Brañas (1996) que tuvo como objetivo el estudiar los precios de venta de la vivienda en Córdoba, asumiendo una forma funcional lineal y utilizando índices para las variables, incluyendo componentes principales para evitar la multicolinealidad (Bourassa *et al.*, 1999; Bristow y Wardman, 2006).

En relación a otros estudios hedónicos de autores españoles, Bengoechea (2004) analizó la relación entre los precios de los inmuebles y la disponibilidad de zonas verdes con los datos obtenidos de la ciudad de Castellón, revelando que por cada metro que nos alejamos de las zonas verdes, el precio de la vivienda desciende en 18 euros, por lo que se valoraba más la proximidad a la propia zona verde que su extensión en la toma de decisiones para la adquisición de una vivienda. En la investigación de Bilbao (2000), se estimó una función de demanda de vivienda en cinco ciudades de la Comunidad Autónoma de Asturias demostrando que la vivienda es un bien heterogéneo afectado con variables de tipo sociodemográficas (sexo, edad o nivel de estudios de los demandantes) entre otros regresores. Tránchez (2001) examinó el PH de una muestra de viviendas de Madrid en la que consideró una forma funcional lineal. Bover y Velilla (2001) buscaron como finalidad el conformar un índice de precios de la vivienda nueva para toda España, asumiendo una forma doble logarítmica entre el precio y la superficie en metros cuadrados con la consecuente interpretación en elasticidades de los coeficientes estimados. En el ensayo de García-

Montalvo y Mas (2000) se empleó un modelo de crecimiento de precios con estimaciones MCO, efectos fijos y variables instrumentales (VI en adelante) para la misma especificación. Gómez Gómez (2002) caviló sobre el impacto del ruido aeronáutico en las viviendas de los alrededores del aeropuerto Madrid-Barajas a través de un modelo hedónico, donde consiguió con una transformación Box-Cox, los mejores coeficientes de la regresión. Por último, comentar el trabajo de Branas-Garza *et al.* (2001), con la utilización de una forma funcional logarítmica para la obtención del precio de venta de la vivienda en la ciudad de Córdoba.

A nivel internacional y algo más reciente, resaltar el estudio de Cohen y Coughlin (2008) donde se analizan varios modelos econométricos de PH para examinar el impacto del ruido en una muestra de 508 viviendas en el año 2003 cercanas al aeropuerto Hartsfield-Jackson de Atlanta (EEUU). El resultado fue que para aquellas viviendas que soportaban entre 70 y 75 dB, su precio disminuía un 20,8% en relación a aquellas viviendas que soportaban menos de 65 dB. Además, estimaron una elasticidad precio de la vivienda en relación a la distancia del foco del ruido, de -0,15. Otra conclusión interesante fue que el precio de las viviendas cercanas al aeropuerto no dependían exclusivamente del ruido que recibían, sino que su localización y vías de accesos jugaban un papel predominante, de tal manera que, ante incrementos de un 1% en la distancia al aeropuerto, el valor de las viviendas decrecía en un 0,15%, lo que nos indica que los inmuebles más cercanos tenían un valor superior a las más alejadas al aeropuerto. Jasper y Straaten (2009) emplearon un modelo Log-Lin para estudiar los efectos del ruido en el aeropuerto de Amsterdam. Para las 66.000 viviendas estudiadas, el beneficio total de disminuir en un dB la contaminación acústica fue de 574 millones de euros. El estudio determina que el tráfico aéreo tiene el mayor impacto sobre los precios de las viviendas, seguido por el ferroviario y el vehicular. Por último, destacar por su relevancia, el estudio de la FAA (Booz-Allen y Hamilton Inc. *et al.*, 1994) comentando en capítulos anteriores, donde se analizó el impacto del ruido para tres aeropuertos norteamericanos (Los Ángeles, Baltimore/Washington y JF Kennedy). Utilizó una regresión lineal y un método de estimación por MCO, dividiendo las viviendas en tres grupos en cada aeropuerto en función de su precio (alto, moderado y bajo) y estimando cada grupo de viviendas incluyendo la variable ruido como una dummy, entre otras variables (antigüedad, superficie, número total de habitaciones, presencia de garaje, etc.).

Especial mención merece la publicación de Rahmatian y Cockerill (2004) que estudiaron 23 aeropuertos del sur de California en 1995 y definieron como influía en el

precio de las viviendas incluidas dentro de cada corredor aéreo la distancia a un aeropuerto de tamaño grande o pequeño. Los precios marginales calculados se basaban en una distancia media a un aeropuerto de 9.500 metros. Las viviendas localizadas a menos de 5.000 metros de un gran aeropuerto (más de 100.000 pasajeros anuales) tienen un precio medio que se estima entre un 4% y 10% menor que los hogares situados a más de 5.000 metros de un gran aeropuerto. Además, las viviendas ubicadas dentro de un área inferior a los 5.000 metros de un pequeño aeropuerto, tienen un precio medio que es de 1,75% a 7,5% menor que las casas fuera de ese perímetro. En definitiva, establecieron que el precio marginal por metro de distancia para los hogares ubicados en la trayectoria de vuelo de un gran aeropuerto no es significativamente diferente del precio por metro para viviendas cercanas a un aeropuerto pequeño.

Trasladándonos al continente suramericano, encontramos el estudio de Revollo (2009) con un modelo hedónico con una forma funcional Box-Cox sin restricciones, para una muestra de 970 viviendas en la ciudad de Bogotá, donde se tuvo en cuenta tanto variables estructurales de la vivienda como del entorno a través de MCO. Se concluyó que la inversión en obras públicas puede afectar positiva o negativamente el nivel de precios por vía indirecta, a través del cambio en el uso de la tierra y dependiendo de la localidad donde sea ejecutada. Además, estableció que la contaminación ambiental afecta negativamente al precio de la vivienda. Para Duque *et al.* (2011) su principal hallazgo fue que la presencia de la estación de metro de San Javier (Medellín) tiene una influencia positiva en los precios de las viviendas localizadas en un radio de 600 metros alrededor de la estación; sin embargo, las viviendas cercanas a las vías de acceso del metro a la estación, presentan un importante decremento en sus precios. El modelo utiliza una forma funcional Log-Lin y se estima aplicando MCO. Otro trabajo elaborado por Mardones (2006) que utilizó cuatro formas funcionales simples (Lin-Lin, Semilog, Log-Log y Semilog Inverso) para estudiar el impacto de la percepción de la calidad del aire sobre el precio de las viviendas en Concepción-Talcahuano (Chile). El resultado fue que mediante la estimación por Mínimos Cuadrados Ponderados, la matriz de varianzas y covarianzas robusta de White y Box-Cox lineal, la contaminación del aire tenía un efecto negativo sobre el precio de las viviendas en tres de las cuatro especificaciones funcionales. Por último, mencionaremos el trabajo de Aguirre y Salinas (2005) en el cual, utilizó una forma funcional Semilog con la variable endógena en logaritmo y estimando por MCO.

Concluyó que el ruido urbano se manifiesta en una disminución considerable del precio en las viviendas estudiadas.

En la Tabla 26 se resume la información comentada durante el repaso de la literatura de PH, incluyendo referencias a otros trabajos empíricos no desarrollados pero que consideramos relevantes incluirlos como referencia.

Tabla 26. Análisis de estudios econométricos sobre PH

ANÁLISIS DE ESTUDIOS ECONOMÉTRICOS SOBRE PRECIOS HEDÓNICOS					
AUTOR/ES	AÑO PUBLICACIÓN	PAÍS	FORMA FUNCIONAL	MÉTODO DE ESTIMACIÓN	TIPO DE PRECIO
<i>Witte et al.</i>	1979	EEUU (Carolina del Norte)	Lineal	MCO	Estimación del propietario
Linneman	1980	EEUU	Box-Cox	Máxima Verosimilitud	Estimación del propietario
Goodman y Kawai	1982	EEUU (New Haven)	Lineal, Log	VI	Estimación del propietario
Palmquist	1984	EEUU (7 ciudades norteamericanas)	Log, Semilog	VI y MCO	Precio de Venta
Peña y Ruiz-Castillo	1984	España (Madrid)	Log	MCO	Alquiler
Bender y Hwang	1985	EEUU (Chicago)	Box-Cox	MV	Precio de Venta
Ihlanfeldt y Martínez-Vázquez	1986	EEUU (Atlanta)	Log	MCO	Estimación del propietario y precio de venta
Bartik	1987	EEUU (Phoenix)	Semilog	VI, MCO	Precio de venta
Linneman y Voith	1989	EEUU (Philadelphia)	Log	MCO	Estimación del propietario
Kim	1992	EEUU (Sacramento)	Lineal	MCO y MV	Alquiler
Uyeno <i>et al.</i>	1993	Canadá (Vancouver)	Log	MCO	Precio de venta
FAA (Booz-Allen y Hamilton Inc. <i>et al.</i>)	1994	EEUU (Aeropuertos Los Ángeles, Baltimore/ Washington y JF Kennedy)	Lineal	MCO	Precio de venta
Anglin y Genzay	1996	EEUU (Windsor y Essex)	Semi paramétrica	MCO	Precio de venta
Genzay y Yang	1996	EEUU (Essex)	Semi paramétrica, Box-Cox	MCO	Precio de venta
Mills y Simenauer	1996	EEUU	Log	MCG	Precio de venta
Caridad y Brañas	1996	España (Córdoba)	Lineal	MCO (Componentes principales)	Precio de venta
Englund <i>et al.</i>	1999	Suecia (Estocolmo)	Log	MCO	Precio de venta
Bilbao	2000	España (Asturias)	Lineal	MCO	Precio de venta
Espey y López	2000	EEUU (Nevada)	Semilog y Box Cox	MCO	Precio de venta
Wilhelmsson	2000	Suecia (Estocolmo)	Lineal, Log, Semilog, Box-Cox	MCO	Precio de venta
Bover y Velilla	2001	España (varias ciudades)	Doble Log	MCO y MCG	Precio de oferta

Tránchez	2001	España (Madrid)	Lineal	MCO	Precio de venta
Branas-Garza et al.	2001	España (Córdoba)	Log	Sistema de ecuaciones aparentemente no relacionadas ⁶⁸	Precio de venta
Lipscomb	2003	EEUU (Georgia)	Lin, Log, Box-Cox	MCO	Precio de venta
Bengoechea	2004	España (Castellón)	Lineal, Log, Semilog	MCO	Precio de oferta
Rahmatian y Cockerill	2004	Sur de California	Lineal, Semilog y Log-Lineal	MCO	Precio de venta
Aguirre y Salinas	2005	Chile (Santiago de Chile)	Semilog	MCO	Precio de venta
Bitter et al.	2006	EEUU (Tucson)	Log	MCO (Método de expansión ⁶⁹ y modelo GWR) ⁷⁰	Precio de venta
Mardones	2006	Chile (Concepción-Talcahuano)	Lin-Lin, Log-Log, Semilog,	MCP	Precio de venta
Cohen y Coughlin	2008	EEUU (Atlanta)	Log	MCG	Precio de venta
Jasper y Straaten	2009	Holanda (Amsterdam)	Log-Lin	MCO	Precio de venta
Revollo	2009	Colombia (Bogotá)	Box Cox sin restringir	MCO	Precio de venta
Duque et al.	2011	Colombia (Medellín)	Log-Lin	MCO (modelo GWR)	Precio de venta

Fuente: Elaboración propia.

De todos los trabajos y estudios económicos analizados relacionados con el objeto de estudio de esta tesis, se desprende que el ruido, entendiéndolo como una afectación, *a priori* negativa, entra a formar parte de la serie de características o atributos que cumple una vivienda y por las cuales, los consumidores están DAP por su atenuación. En la medida que el ruido tenga efecto sobre su bienestar, los consumidores manifestarán a través de su DAP un precio distinto si la vivienda está expuesta o no al ruido y de la modulación recibida.

Como expusimos teóricamente en el capítulo dos de esta tesis, si se considera que la relación entre ruido y precio de las viviendas es inversamente proporcional, es decir, las viviendas que están expuestas a un mayor nivel de ruido, tendrán un precio menor por lo que, si comparamos dos viviendas con idénticas características o atributos, pero una exposición al ruido intenso y perjudicial, y la otra no, podríamos llegar a la conclusión lógica de que la diferencia de precios entre ellas se justificaría por el valor del daño ambiental causado producto del ruido, *ceteris paribus*.

⁶⁸ El procedimiento de Ecuaciones Aparentemente No Relacionadas aporta dos ventajas relevantes frente a la estimación MCO, mayor eficiencia al considerar la correlación contemporánea entre los errores de distintas ecuaciones y la posibilidad de contrastar las hipótesis de simetría de los parámetros.

⁶⁹ El pionero en el uso de este método fue Casetti en 1972.

⁷⁰ *Geographically Weighted Regression* o Regresión Geográficamente Ponderada, véase a Brunson et al. (2002) y Osland (2010) que aplican este método con datos sobre precios de las viviendas.

En contra, existen conclusiones contradictorias en relación con la afirmación de que a mayor contaminación acústica que reciba una vivienda, su valor se irá depreciando. Por ello, cuantificar de la manera más precisa esta externalidad negativa, se presenta como parte fundamental para el cálculo final de la vivienda. Paralelamente, debemos tener en cuenta una serie de supuestos que acompañan al mercado de la vivienda y que pueden limitar o sesgar su estudio como son:

1. El consumidor maximiza su utilidad sujeto a una restricción presupuestaria. Así, los consumidores son precio-aceptantes en la maximización de su utilidad y los productores también lo son en la maximización de sus beneficios (Mäler, 1977; Brookshire *et al.*, 1982; Palmquist, 1984; Parsons, 1986).
2. Ausencia, prácticamente plena, de un mercado de la vivienda de futuros y seguros significativo, e influencia del Estado que hace variar tanto los precios como la cantidad de servicio de vivienda ofertado a través de alquileres sociales, oferta de viviendas de protección oficial, regulaciones normativas, bonificaciones fiscales o ayudas directas. Además, de los costes de transacción que asume el individuo por cambios de residencia (Azqueta, 2007).
3. El mercado de la vivienda es competitivo, donde la interacción de oferentes y demandantes del bien se ponen de acuerdo en una transacción para determinar el precio. El supuesto básico de partida en el ámbito empírico es considerar que el mercado está en equilibrio y que la oferta de viviendas es constante. Asimismo, existe la posibilidad de que los consumidores puedan acceder a una vivienda a través de su compra o alquiler (Mäler, 1977; Brookshire *et al.*, 1982).
4. Se percibe una notoria asimetría de la información en el mercado de la vivienda (estado real de la vivienda, cargas o deudas, etc.), ya que las partes que intervienen en la transacción de compraventa, no cuentan con la misma información sobre el bien, lo que conlleva a posibles fallos del mercado.

5. En la mayoría de los casos, los supuestos del modelo de los PH son apropiados solo para el corto plazo, ya que, en el largo plazo, el mercado de la vivienda no está en equilibrio (Cropper, 1981). Se considera que a corto plazo, la oferta es más rígida ya que la construcción de una vivienda, generalmente, conlleva varios años, por lo que los movimientos de la demanda a corto plazo afectan, principalmente, al precio.
6. El precio de mercado de la vivienda revelará el vector de atributos (antigüedad, metros cuadrados, etc.) y éste tendrá una relación relativamente constante, que dependerá del número de compradores y vendedores y, de sus características o atributos.
7. Debemos asumir el supuesto de la movilidad de los agentes para así evitar una segmentación del mercado analizado, inferir los datos correctamente y que el método de PH tenga validez, sino fuese así, los PH no reflejan plenamente la dotación de bienes ambientales (Perelló-Sivera, 1996; Azqueta, 2007).
8. Existe complementariedad débil entre el bien privado y sus características o atributos (Mäler, 1977; Brookshire *et al.*, 1982). El concepto de complementariedad débil aparece cuando se desconoce la relación existente entre el precio de la vivienda y la cantidad del bien ambiental y, se supone que la utilidad marginal del atributo ambiental se hace cero cuando la cantidad demandada del bien es nula.
9. Posibilidad de falta de información por la omisión de variables explicativas relevantes para el precio del bien (Perelló-Sivera, 1996; Azqueta, 2007; Brasington e Hite, 2008) o por la carencia de datos fiables de la población para las variables en estudio debido a la dificultad de obtenerlos o por errores en su medición (Kolstad, 2001), lo que puede llegar a producir sesgos.
10. El método hedónico asume que todos los individuos residentes en la zona de estudio pueden percibir el precio implícito generado a partir de las diferencias en la calidad ambiental del atributo (Mäller, 1977) y son plenamente conscientes de los efectos de la contaminación acústica. Hecho

éste, que puede diferir de la realidad. Se desprende por tanto que sólo se contempla el valor de uso de la vivienda, es decir, el método no permite captar el cambio de bienestar de aquellas personas que son afectadas por cambios en la calidad ambiental, por ejemplo, personas que circulan por el lugar afectado acústicamente, pero no a través de la posesión de la vivienda (Perelló-Sivera, 1996; Azqueta, 2007).

Por último, matizar que una de las dificultades de mayor complejidad que se nos presenta es que los residentes del área de estudio, frecuentemente, no tienen la menor conciencia o les es difícil de percibir las diferencias en el valor de una vivienda afectada por un impacto ambiental negativo, por ejemplo, por la contaminación acústica. Aún más, solamente creen que el valor catastral o comercial de su bien inmueble está influenciado por factores objetivos o de fácil medición como la extensión física del terreno, su valor comercial, área de construcción, tipos de acabados, localización, accesibilidad a servicios básicos (agua, energía eléctrica, teléfono, alcantarillado) o vías de comunicación, número de ofertantes y demandantes, etc.

4.2.1. EQUILIBRIO HEDÓNICO DEL MERCADO DE LA VIVIENDA

Con la finalidad de explicar la heterogeneidad, indivisibilidad, durabilidad y singularidad inherente a la vivienda, así como las características de un mercado de la vivienda con asimetrías de la información, plenamente competitivo y con la presencia de una alternativa a la compra, ofrecido por el mercado del alquiler, muchos economistas han considerado dicho bien en términos hedónicos para su adecuada modelización. Como punto de partida, Rosen (1974) desarrolla un modelo general para la oferta y demanda de bienes heterogéneos o diferenciados que erige los fundamentos teóricos de este enfoque en un entorno de mercado competitivo, y que con su aportación se constituyó en un referente del enfoque hedónico. Este autor afirma que un bien heterogéneo multidimensional está compuesto por diferentes características o atributos con unos precios marginales implícitos de los mismos, los cuales pueden ser estimados a partir de un modelo, el modelo de PH. En definitiva, la ecuación hedónica representa una envolvente conjunta de una familia de funciones de valor (de los demandantes) y otra de funciones de oferta o subasta (de los ofertantes) respecto a las diversas características de un bien, en nuestro caso, la vivienda.

Siguiendo a Rosen (1974), se define una función de demanda, de valoración de demanda o “*bid function*” (θ) para cada unidad de familia como el valor máximo que dicha unidad está dispuesta a pagar por la cesta de atributos que componen la vivienda Z y que maximiza su utilidad. Así, considera la vivienda descrita por un conjunto de características $Z(z_1, \dots, z_k)$, donde z_i con $i = 1, \dots, k$, representa el conjunto de características o atributos del bien Z , medidos de manera objetiva a partir de la utilidad (U) que cada unidad familiar confiere a dicho atributo de la cesta. Además, se establece que la función (θ), puede estar afectada por los niveles de renta o ingresos de los hogares (M), y por las preferencias o gustos de los demandantes (ξ). Es decir, la vivienda se entiende como un “*conjunto o vector de atributos individuales cada uno de los cuales proporciona servicios de vivienda*” (Witte *et al.*, 1979; Rothenberg, 1991) e implica a su vez que el resto de renta del consumidor sea gastado en el resto de bienes de la cesta de consumo (X). Por lo que la función de demanda sería:

$$\theta = \theta (z_1, \dots, z_k; U; Y; \xi)$$

Derivando la función (θ) con respecto a cada atributo o característica, $\partial\theta/\partial z_i$, se obtiene el valor de los precios implícitos para el conjunto de atributos demandados por la unidad familiar. El precio de mercado de la vivienda Z_i quedaría representado como $P(Z_i)$ y es una función asociada con el conjunto de características tal que, $P(Z_i) = P(z_1, \dots, z_k)$, denominada función de PH o función hedónica. Esta función condiciona a los consumidores y productores del mercado, y en competencia perfecta los agentes no pueden influir en el precio del bien, tomándolo como dado.

Si la función de utilidad es estrictamente cóncava, la función (θ) para el conjunto de características del inmueble Z_i aumentará si se produce un incremento en la utilidad (U) de las mismas, pero dicho incremento será menos que proporcional. Una familia maximiza su utilidad por el consumo de un bien heterogéneo que posee características $Z(z_1, \dots, z_k)$ donde una de estas características puede ser la calidad ambiental y el consumo de todos los demás bienes (X) que conforman su cesta familiar, sujeto a una restricción presupuestaria exógena (Freeman, 1992). Por lo tanto, la función de utilidad estará formada por:

$$U [(z_1, \dots, z_k), X]$$

y se maximiza sujeta a una restricción presupuestaria tal que:

$$\text{Max } U [(z_1, \dots, z_k), X] \text{ sujeto a } M = X + P(Z_i)$$

En definitiva, $P(z_1, \dots, z_k)$ es la función de PH que relaciona los precios y los atributos revelados a partir de los mercados implícitos de los productos. Por lo tanto, aplicando el lagrangiano para este problema de optimización, las condiciones de primer orden nos muestran que,

$$\frac{\partial U / \partial z_i}{\partial U / \partial X} = \partial P(Z_i) / \partial z_i$$

expresión que supone que, *ceteris paribus*, la disposición marginal a pagar por z_i debe ser igual al coste marginal de la adquisición de z_i . Es decir, la disposición marginal a pagar por una unidad adicional del atributo z_i de la vivienda Z_i .

Paralelamente, se define una función de oferta, de valoración de oferta (Φ) como manifestación del valor mínimo a partir del cual un oferente está dispuesto a aceptar la venta de un inmueble Z_i . Presuponiendo la conducta maximizada del oferente, la función de oferta dependerá del conjunto de atributos $Z(z_1, \dots, z_k)$; del número de viviendas vendidas o producidas (V) con características z_i ; de un determinado nivel de beneficios (η); y de una serie de condiciones en cuanto a precios de los factores y función de producción de cada empresa (β). Por lo que la función de oferta del mercado sería:

$$\Phi = \Phi(z_1, \dots, z_k; \eta; V; \beta)$$

Diferenciando dicha función con respecto a un atributo cualquiera z_i , obtenemos los precios implícitos ofertados para cualquier atributo $\partial\Phi / \partial z_i$. Considerando la función de beneficios de los oferentes estrictamente convexa, ante incrementos en la valoración del conjunto de atributos ofertados $P(Z_i)$, ésta puede permanecer constante o incrementar su valor. Un productor maximiza su beneficio cuando:

$$\text{Max } \eta = VP(z_1, \dots, z_k) - \beta[V, (z_1, \dots, z_k)]$$

El productor ofrecerá el bien hasta que el coste marginal de producir una unidad adicional de z_i sea igual al precio del bien, y además, cuando un atributo adicional es igual al PH de cada característica.

$$\frac{\partial P}{\partial z_i} = \frac{\partial \beta}{\partial z_i}$$

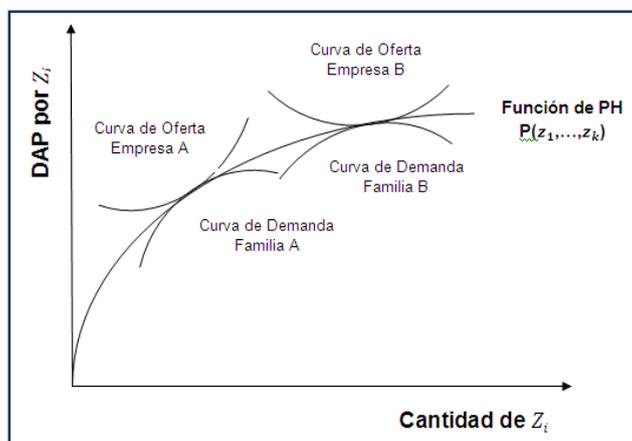
Las decisiones de los agentes, consumidores y oferentes, se evalúan no en el espacio de las distintas variedades de bienes similares, sino en el espacio de las características que los componen (Rosen, 1974) lo que implica que:

- 1) Los intercambios de bienes heterogéneos como la vivienda que se dan en el mercado, son en realidad, transacciones de las características o atributos que componen estos bienes, que se demandan y ofrecen de forma conjunta.
- 2) Las decisiones de consumidores y oferentes y, las valoraciones que estos obtienen del mercado tienen, fundamentalmente, las características que tienen estos bienes así, por ejemplo, en el caso de los consumidores, estos no valoran el consumo de dichos bienes, sino las características que estos poseen que son las que le proporcionan utilidad. Dicho de otro modo, el consumidor no maximiza su utilidad eligiendo entre distintas variedades de viviendas, sino entre las distintas características que ofrece cada unidad de vivienda.
- 3) En la medida en que los agentes valoran los atributos o características que componen estos bienes heterogéneos, se puede señalar la existencia de mercados implícitos, diferentes comportamientos de los agentes, y distintas elasticidades respecto a dichas características.
- 4) La norma básica es que tanto consumidores como ofertantes son precio-aceptantes en su maximización del beneficio.

Como resultado final, el mercado en equilibrio para nuestro bien heterogéneo Z_i se define por la intersección entre ambas funciones de oferta (Φ) y de demanda (θ) para un conjunto de atributos dados (z_1, \dots, z_k) . Así, la conducta maximizada de consumidores y productores genera un precio que actúa como parámetro en las decisiones de los agentes económicos. De manera resumida, este representa por el lado de la demanda, el precio máximo que los consumidores están dispuestos a pagar por un conjunto determinado de características de la vivienda. Si dicho valor es igual o superior al precio mínimo a partir del cual los oferentes están dispuestos a vender una vivienda con ese conjunto determinado de características, se realiza la venta efectiva

de la misma. Por lo que, la función de PH es una doble envolvente de curvas *bids* de las familias y de las curvas de ofertas de las empresas (Rosen, 1974).

Gráfico 9. Relación entre DAP y cantidad z_i



Fuente: Elaboración propia adaptado de Rosen (1974).

Queda demostrado que nos encontramos con diversos puntos de tangencia entre las curvas de oferta y demanda de vendedores y compradores respectivamente, lo que conforma a la función de PH. Dichos puntos de tangencia se refieren a la pendiente de la función de precio implícito, de oferta y de demanda de cada z_i . Es decir, la pendiente de la función de precio implícito hace referencia al cambio marginal en el precio de la vivienda cuando el atributo z_i , se incrementa en una unidad, lo que puede ser identificado con un precio para el atributo.

De manera ilustrativa, cabe comentar que Rosen (1974) obtiene las funciones de demanda a través de un método de estimación en dos fases o etapas. En la primera fase se realiza la estimación de la función hedónica, para posteriormente, obtener un conjunto de precios marginales implícitos de cada atributo por derivación, $P(z_i)$. En la segunda fase se estiman las ecuaciones de demanda para cada una de las características de la vivienda utilizando las estimaciones de los PH de la etapa anterior, con el objetivo último de obtener las elasticidades-precio y renta de las distintas características de la vivienda.

4.2.2. DIFICULTADES EN LA OBTENCIÓN DE LA FUNCIÓN DE PRECIOS HEDÓNICOS Y LA REGRESIÓN ECONÓMÉTRICA

La estimación de modelos de PH por medio de la regresión econométrica para la obtención del precio de la vivienda, fue realizada por primera vez, de manera casi coetánea, aunque con finalidades distintas, por Nelson (1978) y, Harrison y Rubinfeld (1978), sin olvidar la aportación de un estudio de Witte *et al.* (1979) basado las teorías sobre el mercado de Rosen (1974), con el principal hándicap para todos estos autores, de la estimación de la función de demanda. Algunos autores consideraran como factores determinantes en la explicación del precio de la vivienda no solo factores intrínsecos o estructurales del propio inmueble, sino que añaden otros factores socioeconómicos o del entorno (tipo de vecindario, vías de acceso, nivel de delincuencia, etc.) y externalidades ambientales (contaminación acústica o atmosférica, etc.), factores que se introducían en la especificación de un modelo econométrico mediante variables dummy (Portney, 1981; Booz-Allen y Hamilton Inc. *et al.*, 1994; Bover y Velilla, 2001; Huang y Palmquist, 2001; Osland, 2010).

La premisa básica del conjunto de las estimaciones hedónicas en economía ambiental es la medida del bienestar ante cambios en las cantidades de cualquiera de las características ambientales. No obstante, los métodos de estudio varían en gran medida en función del tipo de cambio ambiental, los costos de transacción del inmueble y el periodo de tiempo estimado. Podemos encontramos con dos tipos de cambio ambiental en función de su afectación en el mercado inmobiliario: si es de una manera restringida, afectando a un número reducido de viviendas, estaría considerada como una externalidad localizada (Palmquist, 2005), y la función de PH no cambiaría; y, si el cambio ambiental perjudicara a una gran parte del mercado, conllevaría un cambio de función de PH.

La literatura económica nos muestra una serie de dificultades a la hora de obtener un modelo hedónico plenamente válido. La primera es la no linealidad en la función de PH que será el rasgo más común de las funciones de PH (Gracia *et al.*, 2003) y que hace que los precios marginales no sean constantes, es decir, dependerá de las cantidades seleccionadas y estará a su vez, correlacionado con el término de error de la ecuación de demanda de la característica en cuestión, de tal forma que la estimación por MCO produce resultados sesgados (Palmquist, 1984; Epple, 1987; Bartik, 1987). Así, un consumidor puede influir en el precio pagado por un bien, variando la cantidad de características compradas, aunque no puede influir en la

estructura de precios total que vienen dado por el mercado. Una propuesta factible la encontramos en el ensayo de Goodman y Kawai (1982) donde se expone que para estimar correctamente las elasticidades-precio y renta de la demanda es conveniente utilizar VI. En definitiva, las soluciones que se aplican con más frecuencia es la utilización de VI o de datos de varios mercados, calculando una ecuación de PH para cada uno de ellos.

En una línea similar, los trabajos de Bartik (1987) y Epple (1987) demuestran que la estimación por MCO no es consistente debido a la correlación entre las variables no observables y las observables, ofrecen una especificación para esos componentes aleatorios y se aportan soluciones también en términos de utilización de VI. Un modelo con estimadores inconsistentes, conlleva a que, independientemente del tamaño de la muestra elegida, el sesgo no desaparecerá. Linneman y Voith (1989) examinan el problema de las estimaciones mediante un modelo de PH donde se combinan muestras de propietarios y arrendatarios, mostrando que una muestra que incluye únicamente viviendas procedentes de uno de los dos tipos de tenencia presenta un sesgo de selección. De forma paralela a este tipo de literatura, se encuentra el trabajo de Blakley y Ondrich (1988) en el que muestran como una función logit multinomial en elecciones discretas sobre atributos de la vivienda (ubicación del trabajo, disponibilidad de transporte público, metros cuadrados de la vivienda, etc.) no es válido cuando la función utilizada presenta variables continuas y discretas al mismo tiempo.

Un tercer posible problema es la especificación de la forma funcional más adecuada que nos puede llevar a ajustes incorrectos entre la función elegida y los datos (McMillen, 2003). De entre ellos, Anglin y Genzay (1996) y, Genzay y Yang (1996), muestran la bondad de una especificación semiparamétrica (si las no linealidades no se pueden solucionar mediante términos de interacción) frente a especificaciones paramétricas, lineales, logarítmicas o semilogarítmicas, dados los menores errores de predicción de aquella. Pero la utilización de modelos con transformaciones logarítmicas o semilogarítmicas presentan una serie de ventajas: los coeficientes tienen interpretaciones atractivas (proporciones, elasticidades o semi-elasticidades); un ajuste mejor de los datos; la invariancia de los coeficientes de pendiente cuando hay cambios de escala en las variables; reduce el rango de las variables, lo que hace que las estimaciones sean menos sensibles a los valores extremos de las variables; y los supuestos del Modelo Lineal Clásico se satisfacen más a menudo en modelos que aplican logaritmos a la variable endógena, que en los

modelos que no aplican ninguna transformación así, sucede que la distribución condicional de y es frecuentemente heterocedástica, mientras que $\ln(y_i)$ puede ser homocedástica. En este contexto, para Wunderm y Gutiérrez (1992) la estimación de una ecuación de PH no permite inferir cuál es la relación funcional más adecuada a utilizar en el proceso de estimación y sugieren realizar estimaciones no lineales directas, estimando sus parámetros (de no linealidad) simultáneamente con las variables independientes presentes en la ecuación. Concluyen que la especificación lineal no tiene un comportamiento estadísticamente diferente a la de una especificación Box-Cox-Lineal

Una importante limitación es que la transformación logarítmica no se puede utilizar cuando la variable original toma valores cero o negativos, algunas variables que se miden en años, que sean una proporción o un porcentaje. En estos casos es preferible utilizar la variable original sin ninguna transformación. Por el contrario, modelos con formas funcionales cuadráticas funcionan de manera satisfactoria con carácter general, captando las variaciones de los efectos marginales, excepto cuando algún atributo relevante no es susceptible de incorporar ya que por construcción, la omisión de dichas variables en modelos cuadráticos genera problemas de sesgo en la estimación de los parámetros (Taylor, 2003).

En cambio, Goodman (1978), Linneman (1980), Bender *et al.* (1980), Quigley (1982), Bender y Hwang (1985), Cropper *et al.* (1988), Halstead *et al.* (1997), Gómez Gómez (2002) o Revollo (2009) destacan la bondad de usar la transformación Box-Cox (1964), a pesar de su difícil interpretación, así como la inconsistencia que se genera en el caso de que la transformación no siga una distribución normal, corriendo el riesgo de una inadecuada transformación de la variable ambiental de estudio, lo que tendría un gran impacto en las medidas de bienestar ambiental. Debido a esta preocupación, Booz-Allen y Hamilton Inc. *et al.* (1994), Caridad y Brañas (1996), Bilbao (2000), entre otros, defendieron el uso de formas funcionales más simples en sus respectivos trabajos. Por último, Bengoechea (2004) se decantó por un modelo lineal o semilogarítmico por la facilidad en la interpretación de los parámetros a pesar de que en su estudio alertaba de haber elegido una forma funcional incorrecta.

Llegados a este punto, debemos aclarar que, aunque no se ha utilizado en este estudio, en ocasiones, para estimar la forma funcional de una ecuación hedónica se ha hecho uso de la transformación Box-Cox. En la Tabla 27 se resumen los resultados a los cuales se llega mediante este tipo de transformación.

Tabla 27. Valores de los parámetros para la transformación Box – Cox

FORMA FUNCIONAL	VALORES DE LOS PARÁMETROS
Lin – Lin	$\theta=\lambda=1$
Log – Log	$\theta=\lambda=0$
Lin – Log	$\lambda=1, \theta=0$
Semi log	$\theta=1, \lambda=0$

Fuente: Elaboración propia adaptado de Box-Cox (1964).

Retomando la relación de dificultades que nos podemos encontrar en la formulación del modelo hedónico, un cuarto problema sería su especificación. En este sentido, Clapp y Giacotto (1998) dejan constancia de la estrecha dependencia que tienen el resto de coeficientes (localización o la calidad de la vivienda) con el coeficiente de la edad de la vivienda (o año de construcción) en una especificación hedónica con los datos obtenidos del condado de Fairfax (EEUU) en la década de los ochenta. El modelo demuestra que hay dos componentes para el coeficiente de edad: un componente de depreciación transversal puro y un componente del lado de la demanda que cambia con el tiempo. Estos autores concluyen que es necesaria una especificación minuciosa para separar la depreciación de otros efectos relacionados con la edad. Asimismo, ofrecen un marco teórico para interpretar el coeficiente de la edad en los modelos hedónicos basados en la teoría de las expectativas racionales. Además, en lo que al análisis de las perturbaciones aleatorias se refiere, el estimar con datos de corte transversal, conlleva la posible presencia de heterocedasticidad.

Un quinto problema sería los posibles sesgos en las estimaciones de los coeficientes de las variables explicativas por la omisión de variables relevantes en el modelo (McMillen, 2003) que afectarían al precio de la vivienda y haría que estuviese correlacionada con una de las variables incluidas en la función. También, la posible presencia de multicolinealidad entre alguna de las variables que se incluyen en la función de precios como consecuencia de las características intrínsecas de las mismas (Caridad y Brañas, 1996) lo que produce aumentos en los errores estimados debido a imprecisiones en la estimación. En este caso, habría que estimar ecuaciones independientes y separadas para cada variable ya que, de otra manera, sería difícil determinar los precios implícitos de las características consideradas en el modelo. Por último, los posibles errores de medición tanto en la variable dependiente como en las explicativas que provocarían estimadores ineficientes, o insesgados e inconsistentes respectivamente.

En sexto y último lugar, la selección del valor o índice de la vivienda como variable dependiente más idónea. El estudio de Ihlanfeldt y Matínez-Vazquez (1985) establece que la forma de medir el precio de la vivienda no es única: precio por el cual se ha llevado a cabo la transacción (precio escriturado); el precio de tasación; o los índices de precios. Así, ambos autores estudiaron la importancia de las limitaciones de las tres medidas más utilizadas: las estimaciones del propietario, el valor catastral y el precio de oferta. En general, las dos primeras presentan errores de medida, mientras que el precio de oferta presenta sesgo de selección. El resultado de mayor relevancia del estudio radica en la constatación de que las estimaciones de los propietarios causan sesgos de relativa importancia en las estimaciones de gran parte de los coeficientes de las variables independientes.

Mills y Simenauer (1996) estiman modelos de PH que permiten la comparación de los índices de precios de la vivienda, a través de los siete años de la muestra que van desde 1986 a 1992 con 5.581 viviendas estudiadas de cuatro regiones de EEUU. Los resultados muestran que más de la mitad de los incrementos en los precios de las viviendas durante el periodo son como consecuencia de mejoras en los inmuebles. Por su parte, Bover y Velilla (2001) abordan la estimación de PH de multiunidades de vivienda (conjunto de viviendas individuales de una misma zona en una misma fase de construcción por parte de la misma constructora) que hace innecesaria la inclusión en las estimaciones de la mayoría de las características de la vivienda, ya que, dentro de una multiunidad, las viviendas individuales comparten la mayoría de las características. Todos estos estudios llegan a la misma conclusión, los índices de precios habituales sobrevaloran los aumentos de los precios de la vivienda al no tener en cuenta los cambios en la calidad (Englund *et al.*, 1999).

4.3. SELECCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE VARIABLES

El modelo parte de establecer la relación existente entre el precio de un bien heterogéneo, la vivienda en nuestro caso, y algunos de sus atributos, como por ejemplo, la calidad ambiental. Una vivienda puede ser descrita por un conjunto de características estructurales propias del inmueble (superficie construida, número de baños/aseos, garaje, antigüedad, calidad de los materiales, presencia de ascensor, etc.), por las características del entorno o socioeconómicas que afecta directa o indirectamente (vías de acceso, cercanía a supermercados, centros deportivos, escuelas, zonas comerciales, distancia de la vivienda al origen del ruido, etc.) y por las características ambientales (ruido, contaminación atmosférica, visual, presencia de espacios naturales, malos olores, cercanía de acuíferos, etc.) que en este caso particular, nos centraremos, únicamente, en la variable ruido, siendo su indicador los dB. Destacaremos que dichas características ambientales pueden tener consideración de externalidades negativas o positivas. De tal manera que el precio de la vivienda será función del conjunto de atributos antes descritos. De una manera sucinta, *a priori* podemos agrupar dichos atributos de la siguiente forma (Freeman, 1992; Azqueta, 1997):

S_i : vector de las características estructurales de la vivienda.

N_i : vector de las características del entorno o socioeconómicas.

Q_i : vector de las características ambientales.

tal que:

$$P_i = P(S_i, N_i, Q_i) + u_i$$

donde:

P_i es el precio de mercado de compra-venta de la vivienda i para el año n , que en nuestro caso será el año 2012.

Centrándonos en el coeficiente de esta última variable (Q_i) nos indicará la variación monetaria en el precio de las viviendas debido a la externalidad negativa, ruido

aeroportuario militar. Si se deriva parcialmente el precio de mercado de la vivienda con respecto a Q_i ,

$$\partial P / \partial Q_i$$

Obtendríamos el efecto que tendría en el precio de la vivienda, un aumento de una unidad del atributo ambiental, manteniendo constantes todas las demás variables, es decir, daría como resultado el precio marginal implícito del atributo ambiental o la disponibilidad marginal a aceptar por el atributo, desarrollado ampliamente en el apartado anterior. Otro aspecto relevante en la regresión econométrica es la clasificación de las variables que manejaremos. En nuestro caso, las variables serán clasificadas según su comportamiento, como:

- Índice: variables que para cada rango reciben un valor o nombre.
- Discretas: variables que presentan fluctuaciones unitarias y que solo permiten tener relaciones de orden entre ellos. Dentro de este tipo de variables destacaremos las variables dummy, ficticias o binarias que son variables de carácter cualitativo que pueden tomar valor cero cuando no existan y valor uno cuando se aprecie su presencia. En nuestro caso nos limitaremos a la consideración de variables ficticias en la parte derecha de la ecuación, es decir, que actúan como regresores.
- Continuas: variables que fluctúan según una curva continua, lo que implica que existen infinitos números o porciones entre un valor y otro.

En este estudio, los datos obtenidos son de corte transversal, es decir, se analizaron un conjunto de características o atributos del bien en cuestión, en un momento dado, año 2012, con respecto a la variable endógena, su precio de venta para ese mismo año. Ante de pasar al siguiente apartado, debemos destacar una serie de puntos. En primer lugar, es importante poner de manifiesto que nuestro estudio se

basa en calcular la repercusión que el ruido producido por las aeronaves militares tiene sobre las viviendas aledañas a la BA, haciendo uso del *Mapa Estratégico de Ruido* descrito previamente. En segundo lugar, las características estructurales de la vivienda se han basado en los datos registrados en el catastro municipal y la observación directa *in situ* para conocer las dimensiones y características de las viviendas tipo en el área de estudio. En tercer lugar, el precio de venta de los inmuebles de la zona se ha logrado a través de su búsqueda en distintas webs dedicadas a la venta inmobiliaria. En cuarto lugar, las variables explicativas se dividieron en tres, en función de sus características estructurales, del entorno o socioeconómicas y ambientales (Freeman, 1992). Por último, las variables han sido seleccionadas en función de los resultados de varios estudios empíricos comentados en los puntos anteriores para el estudio del precio de las viviendas y que han resultado ser significativas. En este punto, seleccionamos y definimos las variables que utilizaremos *a priori*.

4.3.1. VARIABLE ENDÓGENA. OBTENCIÓN DE DATOS DE LA VARIABLE DEPENDIENTE

Para la variable dependiente hemos recurrido a los valores de las transacciones efectivamente realizadas o información de empresas de tasación y webs inmobiliarias. La variable dependiente es el PRECIO DE VENTA DE MERCADO DEL INMUEBLE para el año 2012. Dada la clara segmentación del mercado de la vivienda (nueva o usada, de alquiler, VPO, etc.) y para evitar distorsiones en los resultados, hemos decidido solo tomar en consideración las viviendas de renta libre usadas con más de dos años de antigüedad, afectas a distinto nivel, por la contaminación acústica procedente de aeronaves militares y, limitadas geográficamente a los municipios de Ingenio, Agüimes y Telde. En el precio no se tiene en cuenta los costes de transacción (impuestos, tasas o gastos de notaría). Se ha descartado al municipio de Santa Lucía de Tirajana por su mínima incidencia. De tal manera que:

$Y = \text{PRECIO DE VENTA DE MERCADO DEL INMUEBLE } i \text{ PARA EL AÑO 2012.}$

Tabla 28. Variable dependiente o endógena, definición y observaciones

VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICIÓN	OBSERVACIÓN
Precio de venta de la vivienda construida (Pvc)	Variable continua que recoge el precio final de compra/venta del mercado de una vivienda de renta libre en euros, con más de dos años de antigüedad y limitada geográficamente entre los municipios de Telde, Ingenio y Agüimes.	Datos suministrados por la <i>Asociación Profesional de Sociedades de Valoración (ATASA)</i> y de distintas páginas webs inmobiliarias de la zona de estudio. Se utilizaron valores de las transacciones efectivamente hechas o estimadas, excluyendo los impuestos y tasas. Gran variación a la baja en el precio del m ² de la vivienda en el área de estudio debido a la coyuntura económica subyacente.

Fuente: Elaboración propia y estudio de campo.

4.3.2. VARIABLES EXPLICATIVAS, EXÓGENAS, AUTÓNOMAS O INDEPENDIENTES. IDENTIFICACIÓN DEL ATRIBUTO AMBIENTAL Y JUSTIFICACIÓN TEÓRICA DE LA ELECCIÓN FINAL DE LAS VARIABLES

Las variables explicativas que tenemos en cuenta deben cumplir los requisitos de caracterizar bien los atributos de la vivienda para ser susceptibles de influir en su precio, ser observables y cuantificables han de ser obtenidos de forma sencilla. De acuerdo a la literatura las variables utilizadas quedan resumidas en la Tabla 29.

Tabla 29. Variables independientes o exógenas por características de la vivienda, definición y observaciones

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LA VIVIENDA (S _i)			
VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICIÓN	SIGNO ESPERADO	OBSERVACIONES
Superficie construida (Scon)	Variable continua registrada en m ² totales construidos, en una, dos o tres plantas para viviendas unifamiliares, y en bloques de pisos con diversas plantas para viviendas de carácter plurifamiliares.	Positivo	Los precios por m ² de construcción oscilan, en términos medios, entre los 980,63 euros para el Municipio de Ingenio y los 1.225,4 euros para el Municipio de Agüimes, según datos del Ministerio de Fomento para el año 2012. Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC cotejados con un estudio de campo de la zona.
Superficie del suelo (Ssue)	Variable continua que aglutina datos sobre el terreno en el que se ha edificado la vivienda, en parte o totalmente, en m ² pero que forma parte de la misma referencia catastral.	Positivo	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC cotejados con un estudio de campo de la zona. Para las viviendas plurifamiliares (pisos) la superficie del suelo se ha incluido un porcentaje del 2% perteneciente a la parte proporcional de las zonas comunes, ya que podría darse datos incongruentes o extremos.
Antigüedad (Antg)	Variable discreta que recoge el tiempo de construcción en años que tiene el inmueble hasta diciembre del 2012.	Negativo	La media de la muestra de estudio la conforman viviendas de 29,65 años de antigüedad, construidas con hormigón, bloques y cemento, reformadas en su mayoría, y algunas edificaciones relativamente modernas. Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC.
Tipología de la vivienda (Tipo)	Variable dummy con valor 1, si la vivienda es unifamiliar, y valor 0, si no lo es.	Indiferente	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC cotejados con un estudio de campo de la zona. Se considera viviendas unifamiliares aquellas que una única familia ocupa la superficie construida en uno, dos o tres plantas.

Estado de Conservación (Econ)	Variable dummy que recoge 5 valores en función del estado general de la vivienda (pintura de la fachada, terminaciones, calidad de materiales utilizados, acabados, etc.) en función de: 1. Estado muy malo (Econ1). 2. Estado malo (Econ2). 3. Estado regular (Econ3). 4. Estado bueno (Econ4). 5. Estado muy bueno (Econ5).	En función del estado de la vivienda	La mayoría de las viviendas de la muestra, concretamente el 66,29%, lo conforman viviendas con un estado de conservación regular/bueno y un 19,43% de la muestra, la componen viviendas con un estado de conservación muy bueno, en su mayoría chalets independientes y casas pareadas. Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC, cotejados con un estudio de campo de la zona. Un estado muy malo o malo se esperaría un signo negativo; para un estado bueno o muy bueno, signo positivo; y para un estado regular, sería indiferente.
Medidas de protección acústica (Mpac)	Variable dummy con valor 1 si la vivienda posee ventanas y contraventanas o doble acristalamiento que la aíse del ruido exterior.	Positivo	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC, cotejados con un estudio de campo de la zona. También se tuvo como referencia el informe de ejecución del PAA a 14 de junio del 2012 elaborado por AENA.
Azotea transitable (Atra)	Variable dummy igual a 1 para viviendas con azotea y transitable.	Indiferente	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC, cotejados con un estudio de campo de la zona.
Disponibilidad jardín, porche o terraza transitable (Djpt)	Variable dummy igual a 1 para viviendas con jardín, porche o terraza y que sea transitable.	Positivo	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC, cotejados con un estudio de campo de la zona.
Garaje (Garj)	Variable dummy igual a 1 para viviendas con garaje.	Positivo	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC, cotejados con un estudio de campo de la zona.
Número de habitaciones/dormitorios (Nhab)	Variable discreta que nos informa del número aproximado de habitaciones/dormitorios que posee la vivienda.	Positivo	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC y de agencias inmobiliarias. Podemos interpretar que a mayor número de habitaciones/dormitorios, la vivienda será más lujosa, de ahí que tenga un signo esperado positivo.
Número de baños/aseos (Nase)	Variable discreta que nos informa del número aproximado de baños/aseos que posee la vivienda.	Positivo	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC y de agencias inmobiliarias. Su signo tendría la misma interpretación que la variable anterior.

CARACTERÍSTICAS SOCIOECONÓMICAS Y DEL ENTORNO (N_i)

VARIABLES INDEPENDIENTES	DEFINICIÓN	SIGNO ESPERADO	OBSERVACIONES
Localización (Locn)	Variable dummy con valor 1 que recoge la cercanía a jardines, espacios de ocio y zonas verdes, colegios, hospitales /ambulatorio, guarderías y áreas deportivas.	Positivo	La categoría que menor superficie ocupa dentro del ámbito de estudio, un 0,5% del total, es la destinada a EQD, particularmente sensible a los efectos de la contaminación acústica. Usualmente, la zona central y la residencial, cuenta con todos los servicios de apoyo fundamentales, no así los lugares marginales como las urbanizaciones aisladas. Los precios de los servicios de apoyo dependen si son públicos o privados, esto influye en la selección de los mismos. Partimos del supuesto de que la cercanía es cuando se encuentre a menos de 1 km y con facilidades de acceso (zonas asfaltadas y aceras). Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC.
Distancia al foco del ruido (Dist)	Variable continua que expresa la distancia existente, expresada en metros, entre la vivienda y el foco emisor del ruido, que en nuestro caso, es el centro de la pista 03R de la BA de Gando.	Indiferente	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC. Debería ser una variable en forma cuadrática para recoger la exponencialidad. A mayor distancia, menor afectación.
Comunicación y accesibilidad (Cyac)	Variable dummy igual a 1 si la vivienda está cerca (a menos de 1 km y sin restricciones) de servicios de transporte público, facilidad de acceso o vías de comunicación en buen estado como autovías o autopistas que pueden influir en el valor de la vivienda.	Positivo	Los datos de la muestra han sido obtenidos de la SEC. Se ha querido incorporar todos los aspectos posibles que, en nuestro criterio, podrían ser relevantes para este atributo. En otros trabajos revisados se utilizaron únicamente los km que separan la vivienda del centro de la ciudad.
Zona geográfica (Zgeo)	Variable dummy con valor 1 en función de si la muestra pertenece a los siguientes municipios: 1. Ingenio (Zgeo1). 2. Agüimes (Zgeo2). 3. Telde (Zgeo3).	Indiferente	De toda la muestra se escogieron, aleatoriamente, 127 viviendas del Municipio de Ingenio, 37 del Municipio de Telde y 11 del Municipio de Agüimes. Se tomó como referencia la cantidad total de la población afectada en los tres municipios y se extrapoló proporcionalmente a la muestra. Los datos han sido obtenidos de la SEC.

<p>Nivel de queja percibida (Nqpe)</p>	<p>Variable dummy subjetiva sobre el nivel de queja percibido de las viviendas afectadas por el ruido. Se distribuye de la siguiente forma:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Queja nula (Nqpe1). 2. Quejas esporádicas (Nqpe2). 3. Quejas habituales (Nqpe3). 4. Reacción notable (Nqpe4). 5. Reacción energética (Nqpe5). 	<p>En función del nivel de queja percibida. A mayor nivel, se esperaría un signo negativo y viceversa.</p>	<p>Los datos fueron obtenidos de un estudio contrastado de la <i>Orange County Health Department</i> (1972) de EEUU sobre las reacciones de la población al ruido en función de los dB percibidos, recogidos en el artículo de Randall (2001). Los datos fueron extrapolados del <i>mapa estratégico de ruido</i> elaborado por el Laboratorio de Ingenieros de los Ejércitos en noviembre del 2005 (Ministerio de Defensa, 2006) y el informe de AENA para el aeropuerto de Gran Canaria (Ministerio de Fomento y AENA, 2007). Posible colinealidad con la variable ambiental.</p>
---	--	--	---

<p>CARACTERÍSTICA AMBIENTAL (Q_i)</p>			
<p>VARIABLES INDEPENDIENTES</p>	<p>DEFINICIÓN</p>	<p>SIGNO ESPERADO</p>	<p>OBSERVACIONES</p>
<p>Contaminación acústica (Cacu)</p>	<p>Variable dummy en dB L_{den} de exposición en la zona, dividida en 5 grupos en función del intervalo de afectación:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Cacu1 Q_i<55. 2. Cacu2 55≤Q_i<60. 3. Cacu3 60≤Q_i<65. 4. Cacu4 65≤Q_i<70. 5. Cacu5 70≤Q_i. 	<p>En función del nivel de dB percibidos.</p>	<p>El modelo econométrico que se propone toma en cuenta el efecto contaminación acústica, tomando el área bajo la curva entre los límites mínimo y máximo del ruido expresado en dB. El impacto sobre el precio final se refleja en el valor del coeficiente de la variable dummy. Según la FAA tomaremos como límite máximo los 65 dB, a partir de ahí, la contaminación acústica perjudicaría al precio de la vivienda. Los datos fueron obtenidos del <i>mapa estratégico de ruido</i> elaborado por el Laboratorio de Ingenieros de los Ejércitos en noviembre del 2005 (Ministerio de Defensa, 2006) y el informe de AENA para el aeropuerto de Gran Canaria (Ministerio de Fomento y AENA, 2007). Se esperaría un cambio de signo a positivo para niveles inferiores a 60 ó 65 dB. Y un signo negativo para niveles de ruido superiores a 65 dB, según la teoría económica analizada.</p>

Fuente: Elaboración propia y estudio de campo.

En principio, se pretende contar con el mayor número posible de variables explicativas sin caer en problemas de agregación o multicolinealidad. Además, la inclusión de variables irrelevantes en la función no tiene, *a priori*, ninguna repercusión en la consistencia de los estimadores (Johnston, 1984). Los datos que se obtengan de

las distintas variables explicativas deben tener una serie de características para que sean consistentes y tengan una validez científica y rigurosa. Además de representar a toda la población objeto de estudio, debemos comprobar la existencia real y fidedigna de los datos con un coste de obtención nulo o poco significativo. Lógicamente, en la muestra elegida no se ha abarcado a toda la población afectada por su amplitud. Los precios de venta de las viviendas se han obtenido por los precios registrados en distintas páginas webs dedicadas a la venta de pisos (segundamano.com, elidealista.es, fotocasa.es, entre otras). Aunque la vivienda en sí no se encontrase en venta, sí se localizó viviendas cercanas en la zona con similares características. En el caso excepcional de que se careciera de datos sobre el precio de las viviendas, se ha optado por utilizar el precio medio de venta por metro cuadrado del municipio para el año 2012. Todos los datos de la muestra son de viviendas que presentan distintos niveles de contaminación por ruido aeronáutico militar, desde 55 dB a 75 dB.

Para el regresor *Nivel de queja percibida*, los datos fueron obtenidos de un estudio contrastado de la *Orange County Health Department* (1972) de EEUU sobre las reacciones de la población al ruido en función de los dB percibidos, recogidos en Randall (2001). Los datos fueron extrapolados del *Mapa Estratégico de Ruido* elaborado por el laboratorio de ingenieros de los ejércitos (Ministerio de Defensa, 2006) y el informe de AENA para el aeropuerto de Gran Canaria (Ministerio de Fomento y AENA, 2007).

Una alternativa contemplada por algunos autores (Palmquist, 2005) es conseguir percepciones subjetivas de los niveles de calidad ambiental, pero en nuestro estudio, para el atributo contaminación acústica, hemos sido lo más objetivo posible ya que, nos basaremos en las mediciones realmente obtenidas en la zona y que tras un estudio de campo y, el uso de la modelización informática, se identifica claramente la vivienda afectada y el rango de dB que sufre. Es más, el precio de una vivienda no dependería en exclusiva de las percepciones específicas de su residente porque el precio es el resultado de un equilibrio del mercado determinado por las interacciones de todos los potenciales compradores y vendedores como desarrollamos en capítulos anteriores. Por último, el estudio no tiene que ser de los mismos individuos o incluso de la misma área del estudio hedónico (Palmquist, 2005).

De la modelización de los determinantes de los precios de las viviendas de diferentes estudios elaborados y mencionados anteriormente, destacamos como uno de los principales factores explicativos del mismo la localización (Bowen *et al.*, 2001;

Lipscomb, 2003; Cohen y Coughlin, 2006), considerando como tal, la proximidad a parques y zonas verdes, medios de transporte, nivel de delincuencia de la zona, presencia de vertederos cercanos, cercanía a aeropuertos, centros educativos y comerciales, etc. Si la contaminación acústica varía a través de una zona urbana concreta y los individuos pueden escoger su nivel de exposición al mismo a través de la localización de su vivienda, los precios de mercado de las viviendas pueden variar en función del área de afectación. De este modo, puede ser posible estimar la demanda por ese bien público de los precios revelados en el mercado de la vivienda (Palmquist, 2005).

La lógica nos lleva a la siguiente conclusión, “*el precio de la vivienda aumentará si nos encontramos en una buena localización*”, es decir, $\partial P_{vc} / \partial Locn > 0$ pero los estudios empíricos realizados no son concluyentes. Según Haider y Miller (2000), en su amplio estudio de 27.400 viviendas vendidas en 1995 en el área metropolitana de Toronto, la cercanía a autopistas, transporte público, centros comerciales o equipamiento recreativo, no aparecen como relevantes en el precio final de venta de la vivienda cuando las incluimos con otras variables explicativas en el modelo⁷¹. Tampoco aparecen como significativas en Cheshire y Sheppard (1995) en su estudio de dos ciudades británicas aunque revela probables sesgos sistemáticos producidos por estudios hedónicos convencionales que excluyen la zona y localización como atributos significativos a la hora de calcular el precio de una vivienda.

En los estudios de Voith (1993) sobre el efecto estimado sobre el precio de las viviendas ante una adecuada accesibilidad por transporte público al distrito financiero de Filadelfia; Weinberger (2001) sobre el precio de alquiler de las viviendas del condado de Santa Clara (California) por mejoras en su acceso por tren o por carretera; o Cervero y Duncan (2002), que examinan el grado en que la proximidad a dos formas de tránsito ferroviario (trenes ligeros y trenes de cercanías) también del condado de Santa Clara, confieren beneficios a propiedades residenciales en términos de valor de venta; para todos estos autores, la localización y accesibilidad de la vivienda, son unos atributos positivos y significativos. Mientras que, en Forrest *et al.* (1996), el reemplazo de las líneas de ferrocarril convencionales de acceso al centro de la ciudad de

⁷¹ Se utilizaron modelos de autocorrelación espacial a través del índice de Moran (Anselin, 1995) para estimar el impacto de los elementos de localización en el precio de las propiedades residenciales vendidas. Estos modelos utilizan una combinación de atributos de localización, del vecindario y estructurales, que explicaron una varianza del 83% en los valores de la vivienda, ofreciendo un mejor ajuste que los modelos no espaciales. Por otro lado, se encontró que el número de baños y el ingreso familiar promedio en un vecindario eran significativos para conformar el valor de la vivienda.

Manchester, por un sistema de tren ligero, en la que utilizó la metodología de precios hedónicos para examinar qué parte de los supuestos beneficios del sistema se han capitalizado en el precio de las viviendas, se llegó a la conclusión de que no se observó ningún efecto discernible en el patrón de los precios de las viviendas.

Morrison *et al.*, (1999) proponían una serie de medidas regulatorias sobre la contaminación aeroportuaria en EEUU en las viviendas limítrofes a los mismos y defendían que los beneficios de poseer una vivienda próxima a un aeropuerto que recibían un impacto de 65 dB era de 25.000 a 52.000 dólares por casa y, en cambio, los beneficios de reducir el ruido por hogar eran de sólo 6.000 dólares. Incluso, propusieron la eliminación de algunos tipos de avión como el Boeing 727 y el DC-9 en los aeropuertos norteamericanos para cumplir con los estrictos requisitos de reducción del ruido y concluyeron que las personas con una alta tolerancia al ruido, requerían recibir una menor compensación por ruido.

Por un lado, Bowes e Ihlanfeldt (2001) estudiaron el impacto de la proximidad de una estación de trenes en la urbe de Atlanta desde 1991 a 1994 empleando una estimación hedónica. Plantearon que la cercanía a una estación de trenes puede arrojar dos resultados contrarios: incrementar el valor de las viviendas debido al abaratamiento que percibían los vecinos respecto a los costes de transporte y la posibilidad de fomentar la apertura de comercios minoristas o, en contra, puede afectar negativamente debido a la criminalidad existente cercana a las estaciones. Finalmente, presentaron un efecto significativo si modificamos la distancia respecto a un centro económico y a la renta media del vecindario. En esta línea y profundizado su análisis en apartados anteriores, recalamos la monografía de Duque *et al.* (2011) para la ciudad de Medellín.

Por otro lado, Haurin y Brasington (1996) en su estudio de una serie de centros educativos públicos en el estado americano de Ohio en 1991, usaron dos variantes del modelo hedónico con coeficientes aleatorios donde la variable explicativa destacada fue la calidad educativa en función de los resultados de los alumnos, asociado con la proximidad al centro y su accesibilidad. La ilación en las diferencias en la calidad escolar fue que repercutían significativamente por unidad de inmueble y no por metro cuadrado. Bogart y Cromwell (2000) pretendieron medir el efecto en el valor de un inmueble en Shaker Heights (Ohio) desde 1987 a 1994, mediante una reasignación de las escuelas entre distintos distritos de la ciudad, con desiguales características del vecindario, raciales, de transporte, etc. Ultimaron que el impacto que tiene dichas

reasignaciones en el valor del inmueble, incluso dentro del mismo vecindario, es de una disminución de un 9,9% o 5.738 dólares al valor promedio de la vivienda. Downes y Zabel (2002) confeccionaron un estudio en la ciudad de Chicago en un periodo que va desde 1987 a 1991 con el propósito de conocer la significatividad de la calidad escolar en el precio de la vivienda. A través de VI atestiguaron que la variable calidad escolar a la hora de adquirir una vivienda cercana a un centro educativo resultaba significativa, es más, los futuros adquirientes de viviendas prestaban más atención a los resultados académicos de la escuela más cercana (con una elasticidad próxima a uno) antes que al índice de gastos por alumno. Por último, Gibbons y Machin (2003) evidenciaron que las familias estarían dispuestas a pagar entre un 3,1% y un 8,8% más por un hogar por cada 10% de mejora de las escuelas primarias cercanas, es decir, las familias valoran positivamente el nivel de educación o la renta de la zona donde se situaba la vivienda. Finalmente, en general, podemos concluir que las familias están dispuestas a pagar más por una vivienda en donde sus habitantes tengan un nivel de educación superior.

Tomando en consideración los atributos estructurales de la vivienda, Wilhelmsson (2000) considera que los atributos más utilizados son: el número de baños, años de antigüedad de la vivienda, la presencia de garaje, superficie interior y exterior de la vivienda (ver también Palmquist, 1984; Parsons, 1986; y Mills y Simenauer, 1996). Se supone que de las conclusiones de estos estudios podemos afirmar que $\partial Pvc / \partial Scon > 0$, $\partial Pvc / \partial Ssue > 0$, $\partial Pvc / \partial Nhab > 0$ y $\partial Pvc / \partial Antig < 0$.

En relación a los aspectos medioambientales con externalidades negativas, Kerry y Huang (1995) compararon los resultados de estudios anteriores sobre la DAP por disminuciones en la polución del aire a través del meta-análisis. Las conclusiones revelan una relación sólida y estable entre las medidas tomadas para la disminución de este efecto negativo y el nivel de polución, y entre esta última y el nivel de renta. Harrison y Rubinfeld (1978) elaboraron un estudio para la ciudad de Boston con la finalidad de imponer una regulación en la emisión de CO₂ de los automóviles que afectaban al precio de una muestra de 506 viviendas. El resultado fue que los beneficios que se obtenían por una cierta reducción de la contaminación eran de 59 a 118 dólares. Por su parte, Nelson (1978;1979) realizó diversos estudios de meta-análisis de varios aeropuertos norteamericanos (Washington, Búfalo, Cleveland, St. Louis, San Francisco, entre otros) estableciendo como endógena el logaritmo del precio catastral de la vivienda, frente a diferentes variables explicativas entre las que

resaltamos la ambiental, definiéndola como el ruido aeroportuario que afectaba a las viviendas próximas a los mismos.

Otros referentes teóricos indican que la primera aplicación de esta metodología al mercado de la vivienda se halló en los trabajos de Ridker y Henning (1967) para el área metropolitana de St Louis (EEUU), que aportaron evidencia empírica del efecto de la contaminación del aire sobre el precio de mercado de las viviendas, así como las otras características propias de los inmuebles y su vecindario, aunque, según sus propias conclusiones, sus resultados no pueden ser extrapolados a otras ciudades y momentos temporales. En este sentido, Kim *et al.* (2003) para el área metropolitana de Seúl, examinaron la variación del precio de las viviendas en función de las mejoras en la calidad del aire. Concretamente, se mostró una disposición marginal a pagar por disminuciones del 4% en las concentraciones medias de dióxido de azufre de, aproximadamente, 2.333 dólares o 1,4% del precio promedio de la vivienda.

Otros autores que analizaron el efecto de la contaminación atmosférica sobre las viviendas fueron Freeman (1979) o Linneman (1980). Recalcar el artículo de Boyle y Kiel (2001), donde se revisa los estudios existentes hasta la fecha que han utilizado la técnica hedónica para estimar cuánto estarían dispuestos a pagar los consumidores de viviendas por mejoras en los bienes ambientales como la calidad del aire, la calidad del agua y la distancia de sitios tóxicos o potencialmente tóxicos. También analizaron si los resultados obtenidos son consistentes a lo largo de los estudios, si los precios estimados cambian con el tiempo y cuáles son los cambios en el comportamiento de los consumidores. A nivel español, resaltar los estudios ya comentados de Bilbao (2000) o Bengoechea (2004). En definitiva, todos ellos utilizaron regresiones hedónicas para calcular el efecto que tenía la contaminación del aire, entre otros, en los precios de venta de las viviendas. La mayoría de dichos estudios derivaban en que la polución afectaba negativamente a los precios de las viviendas.

En relación con el ruido y la proximidad a un aeropuerto, McMillen (2004) obtuvo que las viviendas que recibían valores de o superiores a 65 dB, cerca del aeropuerto O'Hare de Chicago, disminuían su valor cerca de un 9,2% en 1997, pero que al conseguir los fabricantes de aeronaves reducir el nivel de ruido que emiten por importantes mejoras tecnológicas, dicho aeropuerto puede ser ampliado sin causar una gran caída en los valores de las propiedades locales. Es más, las estimaciones que este autor obtuvo, sugieren que los precios de la vivienda podrían incluso subir hasta 284,6 millones de dólares en el área densamente poblada de O'Hare después

de que una nueva pista fuera construida en el aeropuerto. De manera similar, Espey y Lopez (2000) identificaron un decremento significativo del 2% en los precios de las viviendas cercanas al aeropuerto de Nevada, sujetos a dB superiores a 65. Asimismo, Randall (2001) elaboró una tabla con los decrementos de valor de las viviendas a medida que aumentaba los dB percibidos, de gran importancia en la elaboración de esta tesis.

Tomkins *et al.* (1998) alcanzaron la conclusión de que, manteniendo todas las demás variables constantes, las viviendas próximas al aeropuerto de Manchester (Inglaterra), tienen un efecto positivo sobre el precio de las viviendas debido a la posibilidad de encontrar un trabajo en dichas instalaciones o los beneficios de buenos accesos a vías de comunicación del aeropuerto o medios de transporte público y servicios en general. Incluso, en este estudio, el efecto de la contaminación acústica quedaba relegado a un segundo término debido a los mayores beneficios de vivir cerca del aeropuerto.

Lipscomb (2003) examinó 105 viviendas unifamiliares afectadas por ruido aeroportuario en una pequeña población llamada College Park, en Georgia (EEUU), cerca del aeropuerto de Atlanta, con la lógica inicial de que las ciudades pequeñas, con su número relativamente menor de servicios de transporte público, escuelas, de ocio, etc., tienden a disponer de un menor número de variables a tener en cuenta para determinar los precios de la vivienda. Descubrió que las viviendas más cercanas al aeropuerto se vendían a precios más altos, no siendo tan significativo el ruido en este estudio frente a otros factores de localización. El motivo fundamental era las facilidades de accesos por carretera a las viviendas estudiadas desde otros puntos de la ciudad ya que muchos trabajadores del aeropuerto residían en sus inmediaciones. A la misma conclusión se llegó en el estudio de Cohen y Coughlin (2006) comentado anteriormente. Por lo tanto, podemos asumir con cierta certeza el signo de $\partial Pvc / \partial Cacv$.

Por último, los aspectos que no han sido recogidos entre los atributos para definir a la endógena en este estudio han sido el nivel cultural o las diferentes etnias presentes en la población de estudio, renta media de las familias o nivel de delincuencia de la zona pero que en algunos trabajos si se han tenido en cuenta como en Kain y Quigley (1975), Rothenberg (1991), Bogart y Cromwell (2000) o Downes y Zabel (2002). La falta de datos adecuados hace que nivel de renta y educación no hayan podido ser introducidas en la especificación. Consideramos que la homogeneidad en la población

estudiada en relación con estas dos variables hace que los resultados no se vean afectados en gran medida.

4.3.3. SELECCIÓN DE UNA MUESTRA SIGNIFICATIVA. LIMITACIÓN GEOGRÁFICA

Una vez concretada la información requerida y sus fuentes, se procede a seleccionar estadísticamente una muestra representativa de los inmuebles asociados al atributo ambiental que vamos a valorar. La adopción de la metodología hedónica supone un importante esfuerzo en la recogida de datos, no sólo del precio de las viviendas estudiadas sino también de sus atributos, que, en ocasiones, como es nuestro caso, no son observables directamente.

En la literatura económica nos podemos encontrar con distintos criterios para clasificar las muestras, pero se adoptará el criterio que recoge en Greene (2003). En un principio, la muestra representativa se obtiene por una extracción al azar de una serie de individuos que sean una imagen fiel de la población total en lo que respecta a todas las características estudiadas y en concreto, a la ambiental. Además, es importante definir con claridad los límites geográficos del estudio. En nuestro caso usaremos una muestra aleatoria simple, donde damos la misma probabilidad a cada uno de los miembros de una población a ser elegidos, teniendo en cuenta la limitación geográfica a tres municipios aledaños a la BA de Gando. Si la muestra elegida representa adecuadamente los rasgos y características esenciales de la población, podremos realizar inferencias válidas para la población objeto de este estudio (Johnston, 1984; Greene, 2003).

El procedimiento para obtener la muestra aleatoria simple que hemos empleado, la hemos dividido en dos fases de la siguiente manera: asignamos un número a cada individuo de la población, en nuestro caso, las viviendas y; a través de la generación de números aleatorios, elegimos tantos sujetos como sea necesario para completar el tamaño muestral. Este procedimiento práctico, simple y eficiente es de gran utilidad cuando la población que estamos manejando es relativamente pequeña, que es nuestro caso, ya que nuestra población se compone de 6.447 viviendas afectadas por el ruido de las aeronaves a distintos niveles. Para el cálculo del tamaño de la muestra en una estimación de parámetros son necesarios conocer y dominar los conceptos de intervalo de confianza, variabilidad del parámetro, error, nivel de confianza, valor crítico y valor α . Para determinar el tamaño de la muestra más adecuado, en este estudio hemos seguido los siguientes pasos:

1. El parámetro se refiere a la característica de la población que es objeto de estudio y el estimador es la función de la muestra que se usa para medirlo. En nuestro caso, es el precio de la vivienda construida en el área afectada como componente de la calidad acústica de la zona considerando cinco niveles acústicos que, previsiblemente, afectan negativamente a su precio cuando se sobrepasan los 65 dB, (parámetro), medida a través de los promedios obtenidos (estimador).
2. Estimar un parámetro determinado con el nivel de confianza deseado. El nivel de confianza prefijado da lugar a un coeficiente (k) y se define como la probabilidad de que la estimación efectuada se ajuste a la realidad, es decir, que se establezca dentro de un intervalo determinado basado en el estimador y que capte el valor verdadero del parámetro a medir. En nuestro caso, elegimos el 95% de nivel de confianza, es decir, la probabilidad de que los resultados de nuestra investigación sean ciertos, con un valor $k = 1,96$. Este valor proviene de las tablas de la distribución normal estándar $N(0,1)$.
3. La precisión que deseamos para el estudio. El error muestral siempre se comete ya que existe una pérdida de la representatividad al momento de escoger los elementos de la muestra. Sin embargo, la naturaleza de la investigación nos indicará hasta qué grado se puede aceptar. El error muestral es la diferencia que puede haber entre el resultado que obtenemos preguntando a una muestra de la población y el que obtendríamos si preguntáramos al total de la población. Generalmente, cuando no se tiene su valor, suele utilizarse un valor que varía entre el 1% (0,01) y 9% (0,09), valor que queda a criterio del encuestador.
4. Una idea del valor aproximado del parámetro que queremos medir. Esta idea se puede obtener revisando la literatura, por estudio pilotos previos. En caso de no tener dicha información se suele utilizar el valor $p = q = 0,5$ (50%) que es la opción más segura. El problema que puede enfrentarse en un estudio de investigación es la cantidad de información con la que se cuenta, en nuestro caso, conocemos la población afectada. Podemos cambiar este valor, ya que la finalidad de este estudio es conocer el número de viviendas de la muestra que son afectadas en su valor de mercado

debido a que superan los 65 dB (según nos indica la OMS). Podemos esperar que sean una mínima parte, por lo que el valor de $p = 0,1352$. Este dato se obtuvo de estudios de campo en apartados anteriores, donde comprobamos que aproximadamente un 13,52% del área de estudio es afectada por más de 65 dB.

5. Detectar una determinada diferencia, si realmente existe, entre los grupos de estudio con un mínimo de garantía. La única característica que diferencia a la población de estudio sería el municipio donde está establecido.
6. Reducir costes lo máximo posible o aumentar la rapidez del estudio.

La fórmula que utilizaremos en nuestro estudio es ampliamente utilizada y muy acertada para aproximarnos en el cálculo del tamaño de la muestra. La fórmula sería:

$$n = \frac{k^2 N p q}{e^2 (N-1) + k^2 p q}$$

donde,

n = tamaño óptimo de la muestra.

N = tamaño de la población o universo (número total de posibles encuestados), que en nuestro caso será de 6.447 viviendas afectadas.

k = constante que depende del nivel de confianza que asignemos. Los valores de k se obtienen de la tabla de la distribución normal estándar $N(0,1)$. En nuestro caso hemos seleccionado un valor k de 1,96 al 95% de confianza.

e = error muestral en tanto por uno. Normalmente, de forma arbitraria, se acepta un riesgo del 5% por lo que escogeremos un error muestral del 0,05 en tanto por uno.

p = proporción de individuos que poseen en la población la característica de estudio. Esperamos que como máximo el 13,52% de las viviendas afectadas superen los 65 dB como hemos expuesto en apartados anteriores para los tres

municipios más afectados que son Ingenio, Telde y Agüimes, por orden de importancia, por lo que usaremos este porcentaje para el valor p.

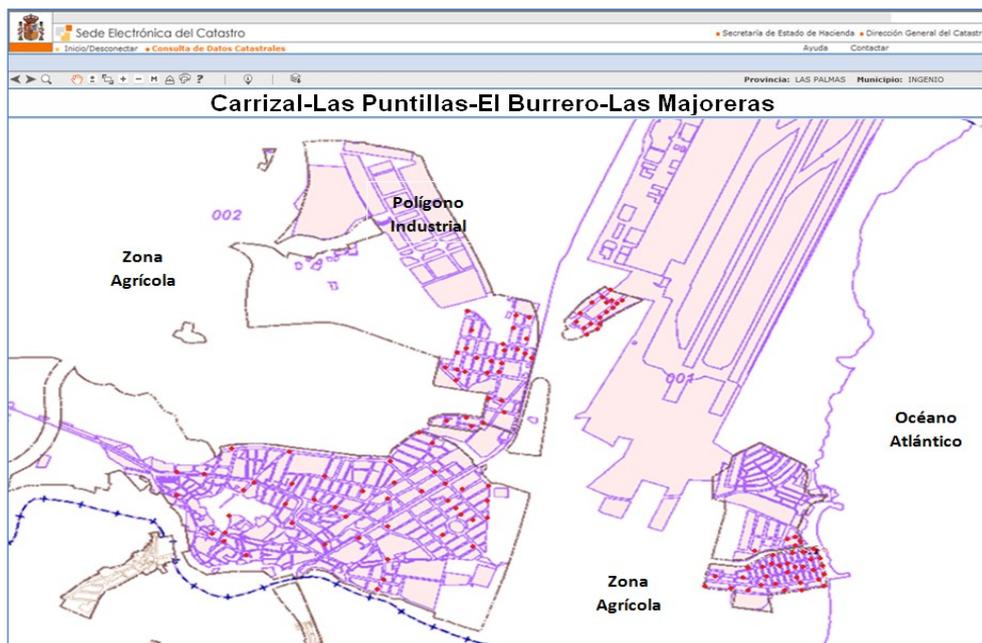
q = proporción de individuos que no poseen esa característica, es decir, es 1-p.

Debemos resaltar que altos niveles de confianza y bajo margen de error no significan que la muestra sea de mayor confianza o esté más libre de error necesariamente; antes es preciso minimizar la principal fuente de error que tiene lugar en la recogida de datos. Aplicando los datos seleccionados y los valores para las constantes expuestas anteriormente, el cálculo de n sería:

$$n = [(1,96)^2 * 6447 * (0,1352) * (0,8648)] / [(0,05)^2 * (6.447 - 1) + (1,96)^2 * (0,1352) * (0,8648)]$$
$$= 2.895,7573 / (16,1150 + 0,4491) = 2.895,7573 / 16,5641 = 174,8212 \approx 175$$

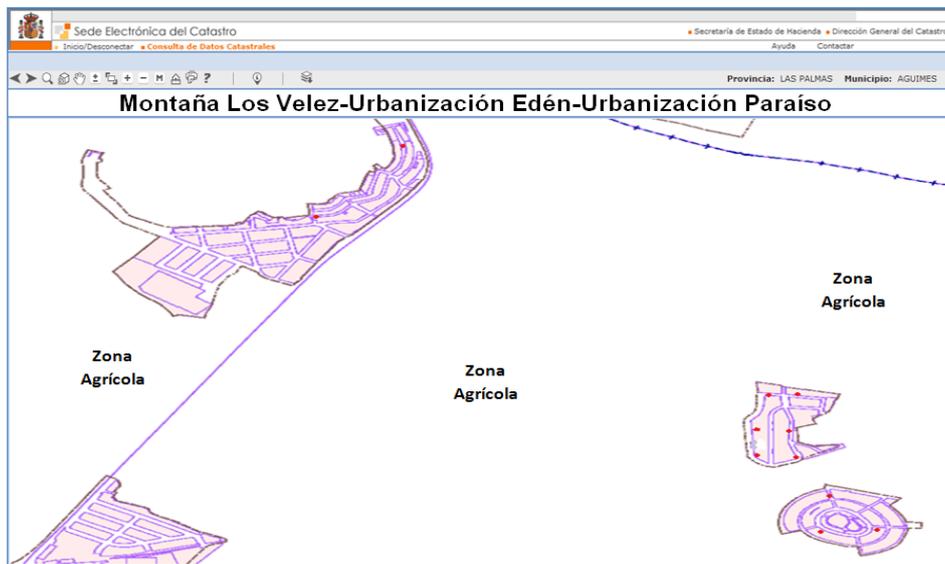
Por lo que nuestro tamaño muestral será de 175 muestras.

Gráfico 10. Muestra del Municipio de Ingenio



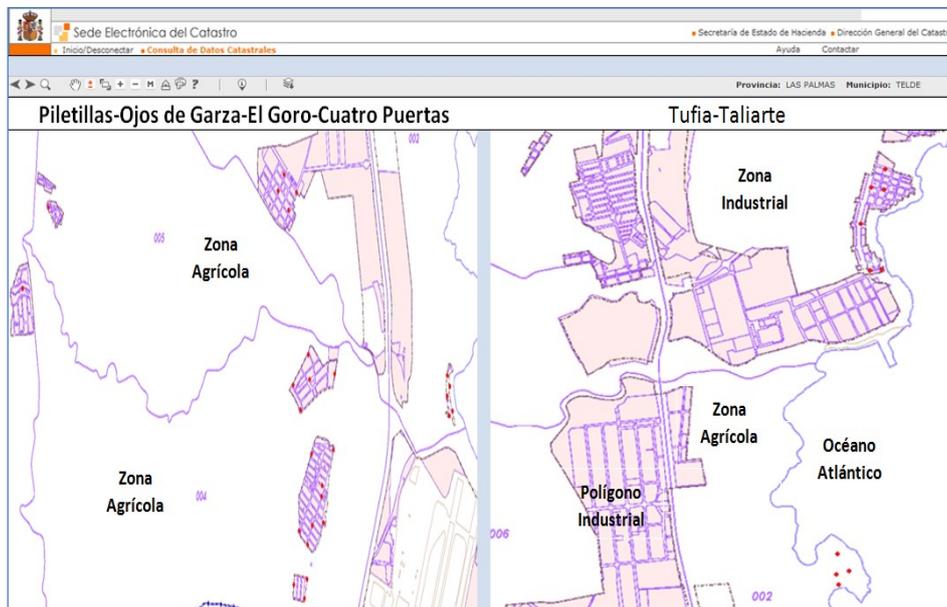
Fuente: Adaptado de la Sede Electrónica del Catastro, <https://www.sedecatastro.gob.es/>, abril 2015.

Gráfico 11. Muestra del Municipio de Agüimes



Fuente: Adaptado de la Sede Electrónica del Catastro, <https://www.sedecatastro.gob.es/>, abril 2015.

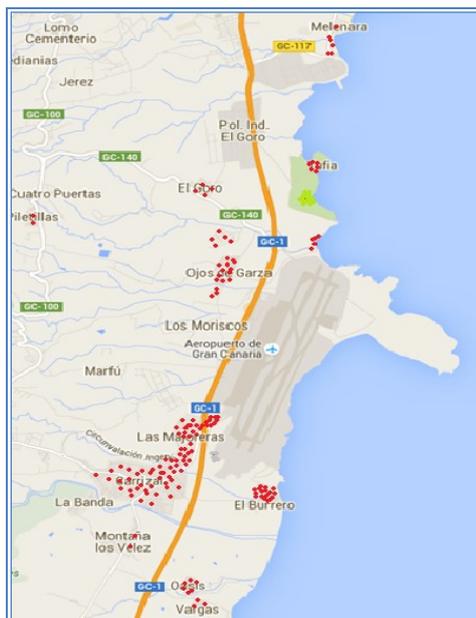
Gráfico 12. Muestra del Municipio de Telde



Fuente: Adaptado de la Sede Electrónica del Catastro, <https://www.sedecatastro.gob.es/>, abril 2015.

Para mostrar una visión conjunta de todas las viviendas de la muestra, en la siguiente Gráfico exponemos la totalidad de la muestra.

Gráfico 13. Superficie afectada indicador L_{den} , distribuidas las isófonas por colores y viviendas de la muestra



Fuente: Elaboración propia a través de la utilización del Google Maps, abril 2015.

A través de un análisis diagonal, se ha analizado un conjunto determinado de viviendas en un instante de tiempo determinado y se recogieron tanto sus precios como sus diferentes características. Este estudio se ha dirigido a 6.449 viviendas afectadas en la zona. La muestra ha sido diseñada para ofrecer resultados por vivienda (calle y municipio). La fuente de información utilizada ha sido por selección cruzada, es decir, se escogieron aleatoriamente una serie de observaciones completas, exactas, independientes y representativas sobre viviendas individuales en un instante de tiempo concreto, año 2012. Todos los datos obtenidos sobre las variables explicativas corresponden a tres municipios: Agüimes, Ingenio y Telde. Se ha descartado el municipio de Santa Lucía de Tirajana por la casi nula incidencia en el caso de viviendas urbanas. Durante el año 2012, han sido tomadas de la página web de distintas inmobiliarias. Los datos están contemplados en términos absolutos. En definitiva, contamos con 175 observaciones por cada variable, que estimaremos por MCO. Asimismo, para realizar el trabajo objeto de estudio, nos basaremos en el modelo de regresión lineal múltiple, considerando que estos tienen teóricamente un comportamiento lineal entre sus variables, de todas maneras, este planteamiento es validado desde el punto de vista estadístico.

En la siguiente tabla expondremos las estadísticas descriptivas de las variables seleccionadas en la muestra:

Tabla 30. Datos medios de la muestra para 175 observaciones

DATOS MEDIOS DE LA MUESTRA (175 viviendas)						
Variable	Unidad		Valor Medio / Disponibilidad	Valor Mínimo	Valor Máximo	Desviación Típica
Precio de venta	Euros		204.636,19	22.822,42	595.738,38	112.844,78
Superficie construida	m ²		196,57	19	564	103,49
Superficie terreno	m ²		187,59	18	1.938	246,32
Antigüedad	Años		29,66	1	112	18,9
Tipología	Unidades	Unifamiliares	146			
		Plurifamiliares	29			
Estado de Conservación	Unidades	Muy malo	11			
		Malo	14			
		Regular	47			
		Bueno	69			
		Muy bueno	34			
Medidas de protección acústicas	Unidades		116			
Azotea	Unidades		169			
Disponibilidad jardín / terraza / porche	Unidades		52			
Garaje	Unidades		124			
Número de habitaciones	Unidades		4,42	1	10	
Número de baños/aseos	Unidades		1,93	1	4	
Localización	Unidades		79			
Distancia al foco del ruido	Metros		2.192,87	662,41	7.599,32	1.282,73
Comunicación y accesibilidad	Unidades		123			
Situación según Municipio	Unidades	Ingenio	127			
		Agüimes	11			
		Telde	37			
Nivel de queja	Unidades	Nula	27			
		Esporádica	35			
		Habituales	73			
		Reacción notable	36			
		Reacción Enérgica	4			
Decibelios percibidos	dB	Qi<55	27			
		55≤Qi<60	35			
		60≤Qi<65	73			
		65≤Qi<70	36			
		70≤Qi	4			

Fuente: Elaboración propia con datos de la muestra.

Se observa que se trata de una muestra de viviendas en su mayoría con una superficie media de construcción de 196,56 m², con un estado de conservación regular/bueno, y unifamiliares en un 83,43%. El nivel de queja de los habitantes en relación a la contaminación acústica, considerando que incluimos el ruido producido por los vuelos comerciales del aeropuerto civil, es habitual (Randall, 2001). Casi la totalidad de la muestra, 169 viviendas, poseen azotea transitable.

Resaltar que la distancia media al foco emisor del ruido (pista militar 03R) es de 2.192,87 metros y que los dB que tienen mayor frecuencia en la zona de estudio es de 60 a 65 dB L_{den}. La antigüedad media de las viviendas de la zona es de 29,66 años. La mayoría son viviendas unifamiliares de 1, 2 ó 3 plantas. Todas tienen suministro adecuado de luz y agua. No existen canalizaciones para el gas ya que dicho suministro es a través de gas envasado en bombona. Inmuebles con medidas de protección acústica como doble acristalamiento en la mayoría (AENA, 2012). Los datos anteriores fueron obtenidos de la muestra seleccionada.

4.4. PLANTEAMIENTO DEL MODELO

El modelo pretende explicar de qué depende el valor de mercado de las viviendas aledañas a la BA de Gando, en función de una serie de variables independientes seleccionadas, haciendo especial hincapié en las variables dummy, contaminación acústica en dB. Para la selección de las variables explicativas, se tomó en cuenta los datos emanados de las conclusiones de trabajos similares realizados en diversas partes del mundo, destacando los obtenidos en EEUU y Europa, expuestos en puntos anteriores.

Nuestra finalidad es calcular los beneficios (o perjuicios) que causa una determinada variable ambiental a la endógena en estudio, y no la demanda del mismo por parte de una población concreta. Es por ello, que en este estudio sólo se estimará la función de PH y se analizarán e interpretarán sus coeficientes. A continuación, se realizará un análisis sobre los factores que inciden notablemente sobre endógena, y por último, al realizar las estimaciones sobre las variables explicativas seleccionadas, se tratará de plantear un modelo con dieciocho variables explicativas iniciales, siguiendo un enfoque práctico y sencillo sin que se sacrificara en exceso la bondad del ajuste del modelo, tomando como prioridad su capacidad predictiva. Aunque los econométricos especifican y estiman una amplia variedad de modelos, la gran mayoría son modelos de regresión o alguna extensión de los mismos.

Teóricamente, a partir de la especificación de un modelo de PH, mediante una regresión, el modelo de forma implícita, con K variables explicativas, queda expresado de la siguiente manera:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i, \quad i = 1, \dots, n$$

donde

Y_i es el precio de venta de la vivienda.

$\beta_{1, \dots, k}$ son los coeficientes o parámetros que acompañan a cada variable (constante en el caso de β_0) e indican el efecto marginal de cada una sobre el precio

X_{1i}, \dots, X_{ki} son los atributos para K variables o regresores y

u_i es el término error para el que se asume una distribución normal.

La especificación para el caso actual sería:

$$P_i = \beta_0 + \beta_{01} \cdot Scon + \beta_{02} \cdot Ssue + \beta_{03} \cdot Antg + \beta_{04} \cdot Tipo + \beta_{0501} \cdot Econ1 + \beta_{0502} \cdot Econ2 + \beta_{0503} \cdot Econ3 + \beta_{0504} \cdot Econ4 + \beta_{0505} \cdot Econ5 + \beta_{06} \cdot Mpac + \beta_{07} \cdot Atra + \beta_{08} \cdot Dipt + \beta_{09} \cdot Garj + \beta_{10} \cdot Nhab + \beta_{11} \cdot Nase + \beta_{12} \cdot Locn + \beta_{13} \cdot Dist + \beta_{14} \cdot Cyac + \beta_{1501} \cdot Zgeo1 + \beta_{1502} \cdot Zgeo2 + \beta_{1503} \cdot Zgeo3 + \beta_{1601} \cdot Nqpe1 + \beta_{1602} \cdot Nqpe2 + \beta_{1603} \cdot Nqpe3 + \beta_{1604} \cdot Nqpe4 + \beta_{1605} \cdot Nqpe5 + \beta_{1701} \cdot Cocu1 + \beta_{1702} \cdot Cocu2 + \beta_{1703} \cdot Cocu3 + \beta_{1704} \cdot Cocu4 + \beta_{1705} \cdot Cocu5 + U_i$$

De manera compacta:

$$P_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^k (\beta_k * X_{ki}) + \sum_{i=1}^n U_i$$

Cabe destacar que el modelo puede ser de dos clases, con efecto aditivo o multiplicativo, lo que permite alcanzar diferentes modelos hedónicos para poder escoger el que mejor se ajusta a la realidad investigada. También existe la posibilidad de un análisis de efecto combinado: aditivo y multiplicativo. Sin embargo, existen sesgos de difícil eliminación que se originan por los diferentes tipos de vivienda analizados al igual que se debe tomar muy en cuenta los errores estándares que pueden ser por la posible presencia de heterocedasticidad y multicolinealidad entre variables. Por último, se debe definir con claridad la forma funcional ya que esta puede ser lineal, no lineal, logarítmica, semilogarítmica, cuadrática o exponencial. Nuestro modelo econométrico tendrá cinco variables ambientales iniciales, Cocu1, ..., 5 en función de los dB percibidos en la vivienda.

Como hemos demostrado anteriormente, la teoría económica no especifica con claridad cuál es la mejor forma funcional (Wunderm y Gutierrez, 1992; Freeman, 2003). Sin embargo, existen ciertos indicios o experimentos empíricos que han dado

buenos resultados. Una solución para nuestro caso es utilizar una forma funcional flexible y sencilla, lo que se conoce como principio de frugalidad, que explique de la mejor manera posible nuestro modelo. Asimismo, la selección de regresores se alcanza a partir de evidenciar múltiples alternativas y contrastarlas. Sin olvidar que, si el tema del trabajo elegido tiene una teoría económica concreta, ésta nos podría servir de ayuda para determinar la especificación del modelo. En caso contrario, a especificación podría quedar muy abierta, aún más si el número de regresores o explicativas utilizadas en el modelo son considerables. Por lo que el número de sendas o combinaciones posibles cuando dispongamos de los distintos regresores podrían ser muy elevado y poco práctico, a la vez que obtendríamos infinitos modelos finales. Por esta razón en la literatura económica se han perfeccionado numerosos criterios de selección de modelos.

Los criterios más utilizados, y puestos en práctica en este estudio, son los siguientes (Johnston, 1984; Greene, 2003):

- 1) **Criterio de maximización del coeficiente de determinación corregido (\bar{R}^2).** Radica en maximizar el coeficiente de determinación corregido o \bar{R}^2 propuesto por Theil (1971), el cuál plantea este coeficiente frente al coeficiente de determinación R^2 que no tiene en cuenta los grados de libertad de la estimación. Sin embargo, este criterio no garantiza que la especificación con mayor R^2 sea el modelo idóneo en tanto en cuanto es posible que el modelo seleccionado contenga variables irrelevantes (Ebbeler, 1975).
- 2) **Criterio de información de Schwarz o SIC.** Se basa en averiguar aquel modelo que minimiza el estadístico,

$$SIC = \log(L_{MV}) - (k/2) \log n$$

donde L_{MV} es la función de máxima verosimilitud del modelo, k es el número de parámetros y n es el número de observaciones (Schwarz, 1978).

3) Criterio de información de Akaike o AIC. Es bastante útil, en general, para modelos que se pueden estimar por máxima verosimilitud, sea o no normal la distribución generadora de la muestra (Akaike, 1974). Reside en seleccionar el modelo minimizando:

$$AIC(p) = -2 \log_e[\text{máx verosimilitud } \vec{x} \vec{\theta}] + 2p$$

4) Criterio de información de Hannan-Quinn o HQC. Inicialmente propuesto para seleccionar el orden autorregresivo de los modelos de promedios móviles o vectores autorregresivos (Hannan y Quinn, 1979), y es definido por:

$$HQC = n \log \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2k \log \log n,$$

donde k es el número de parámetros, n es el número de observaciones, y RSS es la suma residual de cuadrados.

En este estudio tendremos en cuenta el criterio de maximización del coeficiente de determinación corregido, el modelo que presente el menor valor en los tres criterios de información comentados anteriormente, junto con un test de *Ramsey Reset* (Ramsey, 1969) o con sus siglas en inglés, Regression Specification Error Test, que validará la forma funcional de los modelos preseleccionados para el estudio.

Como explicamos anteriormente, los criterios de selección de regresores resultan poco prácticos cuando el número K de variables explicativas potenciales es elevado, pues subsiste un número exponencial de posibles especificaciones del modelo. Con el fin de paliar, en parte, esta disyuntiva, existen varios procedimientos o técnicas prácticas que disminuyen, en cierta manera, las opciones a tratar en cada criterio. Uno de los procedimientos más simples y populares es la regresión *stepwise*. Consiste en

un procedimiento paso a paso de selección de variables de la regresión, que se basan en una batería de contrastes secuenciales para decidir sobre los regresores, uno a uno.

Existen dos tipos bien diferenciados de *stepwise*, tanto de selección hacia delante o *stepwise forward* con el cual se comienza con la constante y se van incluyendo iterativamente variables que en ningún caso se replantea que una variable explicativa pueda salir del modelo una vez ha entrado a formar parte del mismo; o como de eliminación hacia atrás de variables explicativas o regresión *stepwise backward*, procedimiento que se inicia con la estimación de un modelo donde se incluyen todas las variables explicativas con las que se cuentan.

A partir de un modelo inicial de K variables explicativas, se irán eliminando secuencialmente las variables explicativas no significativas. Se incluyen o excluyen, una a una, variables en el modelo fundamentándonos en valores del estadístico *t-student*. En primer lugar, se elimina la variable explicativa con el ratio *t-student* más pequeño, en valor absoluto, de entre los que caigan en la región de aceptación. Una vez eliminada, se estima el nuevo modelo reducido y se procede de la misma manera. Este proceso recurrente se repite hasta que todos los ratios *t-student* de las variables explicativas que se conservan en el modelo se sitúen en la región de rechazo. Es obvio pensar que con este procedimiento, el orden de exclusión de las variables tiene un papel fundamental en la obtención del modelo final, sin que exista una regla taxativa del orden que debemos seguir.

La utilización del método *stepwise* nos ofrece la posibilidad de que, entre un número finito de modelos preseleccionados, al menos uno de ellos, sea el modelo correcto, pero nunca se tendrá la total certeza de que así sea ya que hay decisiones previas al inicio de la regresión econométrica, como por el ejemplo, los niveles de confianza del contraste *t-student* de significación individual elegido que repercuten sobre la especificación final alcanzada, que hacen variar el resultado final, que es la selección del modelo.

Hay algunos economistas como Hoover y Perez (1999) que plantean la necesidad de que en el primer paso de la regresión *stepwise* aparezca más de un modelo candidato, a partir del cual seguir el procedimiento. Está contrastado econométricamente que la selección de regresores está ligada a la forma funcional de la especificación, la cual se modifica en función de la disposición a introducir como regresores formas al cuadrado o al cubo, o la interacción entre variables explicativas, o

la transformación logarítmica de alguna de ellas, entre muchos otros casos factibles de ser empleados. En definitiva, nuestra manera de proceder se sintetiza en los siguientes pasos:

1. Estableceremos cinco modelos iniciales propuestos como punto de partida del estudio, Lin-Lin, Log-Lin, Semilog, Lin-cuadrática y un Modelo General con todas las variables en forma lineal, logarítmica y cuadrática.
2. Realizaremos varias pruebas econométricas y, de los cinco modelos, escogeremos el que mejor represente al área de estudio según unos ciertos contrastes (R^2 corregido, bondad del ajuste, significatividad individual, test de *Ramsey Reset* de forma funcional, etc.).
3. Se eliminarán las variables que no sean significativas según su nivel de significación *t-student* hasta llegar a un modelo globalmente significativo. En nuestro caso, hemos decidido que se rechazará la hipótesis nula si el valor *t-student* obtenido es mayor (en valor absoluto) al valor crítico 1,96 a un nivel de significación del 5%.
4. El método utilizado será el *stepwise backward*.
5. El modelo final seleccionado será sometido a validación.
6. Se llevarán a cabo la interpretación de los coeficientes de las variables explicativas alcanzados y se realizarán predicciones de las 11 últimas observaciones.

Aplicando los pasos anteriormente descritos, nos permitirá contrastar cuál de las formas funcionales, más frecuentes en la literatura económica de PH, se ajusta más adecuadamente a los datos observados en la muestra extraída de la zona de estudio. Los modelos que inicialmente hemos elegido para su validación están sintetizados en la Tabla 31.

Tabla 31. Modelos preseleccionados para el estudio

MODELOS PRE SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO		
TIPO	FORMA FUNCIONAL	
MODELO 1	LIN – LIN	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i$
MODELO 2	LOG – LIN	$\log Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + u_i$
MODELO 3	SEMILOG	$\log Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \beta_1 \log X_{1i} + \dots + \beta_k \log X_{ki} + u_i$
MODELO 4	LIN – CUADRÁTICA	$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \beta_1 (X_{1i})^2 + \dots + \beta_k (X_{ki})^2 + u_i$
MODELO 5	LOG - GENERAL (todas las variables)	$\log Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \dots + \beta_k X_{ki} + \beta_1 \log X_{1i} + \dots + \beta_k \log X_{ki} + \beta_1 (X_{1i})^2 + \dots + \beta_k (X_{ki})^2 + u_i$

Fuente: Elaboración propia.

Para seleccionar el modelo que mejor se ajuste, tendremos en cuenta distintos indicadores: significatividad individual, conjunta, coeficientes de determinación, la suma al cuadrado de los residuos y criterios de información (de *Akaike*, *Schwarz* y *Hannan-Quinn*). No debemos caer en el error de seleccionar el modelo con el único criterio de una bondad del ajuste (corregido o no) más alta⁷², ya que el objetivo en nuestro análisis de regresión es obtener estimadores precisos de los verdaderos coeficientes.

La relevancia lógica o teórica del signo de las variables explicativas es fundamental desde un punto de vista económico, así como su significatividad estadística individual. A partir de estos modelos se hicieron distintas regresiones y comprobaciones de significatividad globales y criterios de información. Para un contraste de significación conjunta de todas las variables de cada uno de los modelos planteados, la hipótesis nula que se está contrastando es que conjuntamente todos los coeficientes, excepto el asociado al término constante, sean cero.

Es determinante que se puede considerar como un contraste general de bondad de ajuste del modelo utilizando para ello el estadístico F, en la forma del R^2 . Si la hipótesis nula no se rechaza, concluiremos que ninguna de las variables en conjunto puede explicar la variación en el precio del inmueble. Esto significaría que es un modelo muy pobre y que debemos reformularlo. Pero tenemos que considerar que al efectuar un contraste con el estadístico F, estamos suponiendo la normalidad del término error del modelo de regresión, cuestión ésta que debiera ser analizada.

⁷² Seleccionar el modelo con el único criterio de un mayor R^2 , puede llevarnos a cometer un *sesgo preprueba* que puede incumplir algunas de las propiedades MCO del modelo de regresión lineal. Véase Rodríguez (2005).

En este punto realizaremos una breve interpretación del parámetro que afecta a la contaminación acústica, a la significatividad global del modelo y de cada uno de los parámetros, a la adecuada forma funcional del modelo, así como de su bondad del ajuste para finalmente seleccionar el modelo más adecuado. También llevaremos a cabo el Test Reset de Ramsey para cada uno de los modelos con la finalidad de detectar si ha habido una omisión de variables relevantes y si la elección de la forma funcional es correcta (Tabla 32 y 33).

Tabla 32. Resultados de los contrastes

MODELOS	Valor p F (K-1, N-K)	R^2	\bar{R}^2 CORREGIDO	SUMA CUADRADO RESIDUOS	TEST RESET DE RAMSEY	
					Estadístico	Valor p
1	9,41e-59	0,8833	0,8655	2,59e+11	2,9792	0,0539
2	4,87e-51	0,8516	0,8290	8,8973	37,2621	7,55e-014
3	5,07e-75	0,9412	0,9295	3,5232	0,4236	0,6560
4	1,12e-54	0,8867	0,8640	2,51e+11	10,2250	7,07e-05
5	9,52e-73	0,9475	0,9342	3,1497	1,2895	0,2787

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

Este test fue redefinido en la forma de un test F^{73} , y nos dice que si no se rechaza la hipótesis nula, significaría que las variables excluidas no deben formar parte del

⁷³ En estadística se denomina prueba F de Snedecor (Fisher, 1922) en la que el estadístico siga una distribución F, si la hipótesis nula no puede ser rechazada. La hipótesis de que las medias de múltiples poblaciones normalmente distribuidas y con la misma desviación estándar sean iguales. En muchos casos, el test F puede resolverse mediante un proceso directo. Se requieren dos modelos de regresión, uno de los cuales restringe uno o más de los coeficientes de regresión conforme a la hipótesis nula. El test se basa en un cociente modificado de la suma de cuadrados de residuos de los dos modelos como sigue:

$$F = \frac{\left(\frac{RSS_0 - RSS_1}{m} \right)}{\left(\frac{1 - RSS_0}{n - k} \right)}$$

Donde:

RSS_0 es el coeficiente de determinación del modelo sin restringir (R^2)

RSS_1 es el coeficiente de determinación del modelo restringido (R^2)

m es el número de restricciones impuestas a los coeficientes estimados (coeficientes restringidos).

k se refiere al número de coeficientes estimados en el modelo sin restricciones.

n se refiere al número de observaciones del modelo.

conjunto de variables explicativas y la forma funcional es correcta. En cambio, si se rechazase, significaría que las variables seleccionadas debieran formar parte del modelo y su exclusión produciría estimadores sesgados. Debemos tener en cuenta también lo que nos dice la lógica económica en relación a los signos de las variables para decantarnos por un modelo u otro⁷⁴.

Como se muestra en los resultados manifestados en la segunda columna de la Tabla 32, el conjunto de variables explicativas seleccionadas son relevantes cualquier que sea el modelo utilizado y a cualquier nivel de significación estándar (el elegido en este trabajo es el 0,05) ya que ningún valor p del test de la F supera el 0,05. Este resultado, sin embargo, no descartaría la posibilidad de que al menos uno de los coeficientes, aparte del asociado al término constante, podría ser distinto de cero. Lo que es de interés es el resultado del contraste y no las diferencias en el estadístico F. La tercera y cuarta columna nos informa de la bondad del ajuste del modelo, que para los cinco es bastante aceptable. Por último, el Test de *Ramsey* nos ofrece información de que los modelos 2, 3 y 5 adoptan una forma funcional correcta. En cambio, los valores del test descartan las formas funcionales utilizadas en los modelos 1 y 4.

Tabla 33. Criterios de información para la selección del modelo

MODELOS	CRITERIOS DE INFORMACIÓN		
	AKAIKE	SCHWARZ	HANNAN-QUINN
1	4.239,48	4.315,44	4.270,29
2	23,2962	99,2511	54,1057
3	-126,8206	-31,8770	-88,3088
4	4.297,65	4.373,60	4.328,46
5	-134,43	-20,4988	-88,2169

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Gretl.

En la Tabla 33 se presentan los resultados obtenidos a través de los criterios de información de *Akaike*, *Bayesiano de Schwarz* y de *Hannan-Quinn*. Estos criterios se han calculado a partir de la suma de cuadrados residual y de algún factor que penalice

El valor resultante debe entonces compararse con el valor correspondiente de la tabla de valores críticos. Si F calculado es mayor al valor F en las tablas, el modelo restringido es mejor.

⁷⁴ Las estimaciones se realizaron con el programa informático Gretl.

por la pérdida de grados de libertad. Un modelo más complejo, con más variables explicativas, reducirá la suma de cuadrados residual pero aumentará el factor de penalización. Contrastando estos criterios, se escogería aquel modelo con un menor valor, por lo que el orden de elección será modelos 5 y 3, el modelo 2 y los modelos 1 y 4⁷⁵. Según los datos suministrados por la Tabla 32 y 33, los dos modelos que mejor se podría ajustar a nuestra realidad serían los modelos 5 y 3 (forma funcional correcta y mejores valores en los criterios de información).

Tabla 34. Resultados de la estimación de los regresores de los distintos modelos de PH propuestos

RESULTADOS DE LA ESTIMACIÓN DE LOS DISTINTOS MODELOS										
Variables exógenas	MODELO 1		MODELO 2		MODELO 3		MODELO 4		MODELO 5	
	Coefficiente	Valor p (t- student)								
const	153.498,00	0,00	11,18	0,00	5,919	0,00	156.750,00	0,016	1,066	0,624
Scon	796,59	0,00	0,003	0,00	-0,001	0,009	1.002,67	0,00	-0,002	0,292
Ssue	27,37	0,089	0,00	0,254	0,00	0,055	70,05	0,2384	0,00	0,459
Antg	-346,28	0,146	-0,001	0,442	-0,003	0,028	-217,73	0,7043	-0,014	0,006
Tipo	22.113,90	0,044	0,154	0,0170	0,001	0,981	16.308,10	0,1746	0,003	0,933
Econ1	-96.997,90	0,00	-0,558	0,00	-0,507	0,00	-89.434,10	0,00	-0,510	0,00
Econ2	-75.185,60	0,00	-0,431	0,00	-0,360	0,00	-71.686,80	0,00	-0,329	0,00
Econ3	-64.841,90	0,00	-0,276	0,000	-0,297	0,00	-62.745,30	0,00	-0,290	0,00
Econ4	-32.776,50	0,00	-0,177	0,001	-0,143	0,00	-30.674,30	0,002	-0,151	0,00
Mpac	-7.461,67	0,494	-0,055	0,389	-0,012	0,769	-2.238,12	0,843	-0,005	0,893
Atra	-19.515,70	0,341	0,109	0,362	0,032	0,684	-21.067,20	0,335	0,052	0,515
Dipt	-8.502,22	0,323	-0,092	0,067	-0,037	0,271	-9.191,18	0,320	-0,037	0,272
Garj	-2.106,26	0,800	0,147	0,002	0,020	0,541	-6.518,01	0,464	0,022	0,506
Nhab	7.786,07	0,015	0,057	0,002	0,063	0,154	10.499,70	0,403	0,075	0,693
Nase	-7.748,75	0,312	0,003	0,944	0,117	0,316	-34.072,30	0,239	-0,507	0,657
Locn	33.244,10	0,021	0,159	0,059	0,109	0,089	33.928,30	0,038	0,066	0,312
Dist	8.842,00	0,072	0,00	0,002	0,00	0,911	0,581	0,981	0,00	0,004
Cyac	-47.376,00	0,00	-0,083	0,291	-0,193	0,004	-55.766,50	0,001	-0,198	0,002
Zgeo1	-76.616,60	0,00	-0,214	0,044	-0,212	0,022	-79.255,40	0,004	-0,366	0,00
Zgeo2	-40.106,30	0,019	-0,238	0,017	-0,128	0,068	-34.354,80	0,067	-0,238	0,002
Cocu1	-44.668,10	0,100	-0,363	0,023	-0,262	0,067	-26.365,60	0,485	-0,173	0,220
Cocu2	-9.201,73	0,730	-0,129	0,407	-0,050	0,685	1.060,91	0,973	-0,046	0,712
Cocu3	5.773,14	0,815	0,026	0,853	0,038	0,738	15.365,50	0,588	0,00	0,994
Cocu4	6.937,37	0,771	0,074	0,594	0,076	0,438	11.959,00	0,635	0,042	0,672
I_Scon					1,163	0,00			1,209	0,00
I_Ssue					-0,034	0,440			-0,001	0,984
I_Antg					0,094	0,020			0,207	0,001
I_Nhab					-0,244	0,208			-0,315	0,456
I_Nase					-0,155	0,431			0,526	0,624
I_Dist					0,213	0,127			0,946	0,001
SqScon							-0,378	0,273	0,00	0,576
SqSsue							-0,022	0,524	0,00	0,568
SqAntg							-1,411	0,801	0,00	0,033
SqNhab							-407,55	0,739	0,00	0,993
SqNase							7.031,17	0,335	0,059	0,666
SqDist							0,00	0,750	0,00	0,003

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

⁷⁵ Las variables Econ5, Zgeo3, Nqpe1, Nqpe2, Nqpe3, Nqpe4, Nqpe5 y Cac5 han sido eliminadas por presentar colinealidad exacta.

Los coeficientes de cada regresión lineal de los modelos de la Tabla 34, suponen la derivada de la función hedónica con respecto a cada atributo y expresan la valoración marginal implícita de cada atributo. En este punto, tenemos que aclarar que hemos tenido que eliminar la variable $Nqpe_i$, ya que presenta, en todos los modelos, una colinealidad exacta con la variable ambiental $Cocu_i$, siendo $i=1, \dots, 5$. Este hecho era previsible ya que la relación de la percepción de la población (Randall, 2001) y los dB realmente recibidos por la población, según nuestro mapa estratégico de ruido elaborado por el laboratorio de ingenieros de los ejércitos en noviembre del 2005 (Ministerio de Defensa, 2006), nos hizo pensar, *a priori*, que habría una alta colinealidad entre ambas variables y la demostración empírica econométrica así nos lo ha corroborado. Además, se elimina una variable de cada conjunto exhaustivo de forma que el coeficiente del resto es interpretado en relación a la excluida (es el caso de Econ5, Zgeo3 y Cocu5).

Mencionaremos que, en los cinco modelos, la variable ambiental aparece como no significativa, es decir, debe ser, *a priori*, eliminada del modelo, algo inaceptable para el objeto de nuestro estudio. Asimismo, los signos de los coeficientes tienen valores positivos y negativos dependiendo del modelo elegido. Llegados a este punto de elección de la forma funcional, ese matiz no es relevante, ya que, *a posteriori* y con la validación del modelo, iremos eliminando variables las cuales harán que aquellas que no son significativa, puedan serlo y viceversa, así como cambiar de signo del coeficiente.

Especificamos que la superficie del terreno o los metros cuadrados construidos podrían no ser representados de forma lineal, o al menos, debería incluir un término al cuadrado o logarítmico para indicar su exponencialidad (Bover y Velillo, 2001). Igualmente, se observa que a medida que se introducen más variables explicativas, la suma de cuadrados residual va disminuyendo y el coeficiente de determinación aumenta, lo que nos indica que las variables introducidas mejoran el modelo, es decir, son variables relevantes, en principio. Es más, el estadístico F de significación conjunta señala en los cinco modelos no aceptar la hipótesis nula de que todos los coeficientes excepto el asociado al término constante son igual a cero. Al menos hay un coeficiente que es significativamente distinto de cero. Por los contraste de significatividad individual, sabemos que pueden ser varias variables y en formas diferentes (logarítmico, lineal o cuadrático).

Es sorprendente que en los cinco modelos, aparezca como no significativo una serie de variables que *a priori*, la lógica nos hace considerarlas como que sí lo son. Por ejemplo, para el precio de una vivienda en la zona de estudio, el que disponga de medidas de protección acústica (Mpac), una azotea transitable (Atra) o, la disponibilidad de jardín, porche o terraza transitable (Djpt), no resultan variables significativas en su precio final, o por lo menos, no lo son en esta primera aproximación. En cambio, si son significativas en los cinco modelos las variables Econ1,...,4, es decir, será relevante para el precio de la vivienda su estado de conservación, destacando que su coeficiente es negativo para todas las variables sean todos los modelos, por lo que, indistintamente de su estado de conservación, siempre tendrá un efecto negativo sobre el precio de la vivienda en las proximidades de la BA.

Una vez analizados y aplicados los distintos test de contraste a los cinco modelos, el resultado es que el modelo 5 es el más completo y el que mejor ajuste presenta, donde se le ha aplicado logaritmos a la variable endógena y se han incluido todas las variables en estudio en forma cuadrática, logarítmica y lineal. El modelo nos indica que es globalmente significativo porque el resultado del valor p (f-statistic) es $9,52e-73$, muy inferior a un 5% por lo que se acepta la hipótesis nula. Destacar que los coeficientes de los regresores tienen interpretaciones distintas en este modelo en función de si ese regresor está en forma de logaritmo o no, extremo que será desarrollado en apartados sucesivos.

Una vez descartadas aquellas variables que presentaban colinealidad exacta, debemos mencionar que 14 son significativas, el modelo con el mayor número, y 22 regresores no lo son, siendo también, el modelo que más variables no significativas, proporcionalmente, presenta y, en el único donde la constante no es significativa con un valor p de 0,6242. Estas últimas están asociadas a una probabilidad *t-student* superior a 0,05, el cual, nos indica si las variables independientes son significativas en la explicación de diferencias en la variable dependiente. En lo que respecta al coeficiente de determinación R^2 , nos muestra un valor muy aceptable y superior al de los modelos anteriores, es decir, nos indica que las variables exógenas explican el 94,75% de la dispersión de la variable endógena, por lo que en principio, la bondad del ajuste es muy buena, resultado que podría ser esperable ya que se incluyen el mayor número de regresores de los cinco modelos. El coeficiente de determinación corregido \bar{R}^2 con un 93,42%, tiene la misma interpretación. Por último, el test *Reset de Ramsey* nos dice que la forma funcional es correcta, se cumple la hipótesis nula, con un valor p de 0,2787, considerando siempre un nivel de significatividad del 5%. Los resultados

de los valores de la variable endógena al cuadrado y al cubo, resultan no significativas con valores 0,1561 y 0,1458 de probabilidad, respectivamente. Este hecho nos puede hacer pensar que estamos en lo cierto y que se mejora el modelo, el asumir regresores en forma de logaritmo en el lado derecho de la función, y mantener la endógena en logaritmo, además de tener regresores al cuadrado. En definitiva, el modelo 5 seleccionado presenta la siguiente forma:

$$\begin{aligned}
 \log Pvc_i = & \beta_0 - \beta_{01} * Scon + \beta_{02} * Ssue - \beta_{03} * Antg + \beta_{04} * Tipo - \beta_{0501} * Econ1 - \\
 & \beta_{0502} * Econ2 - \beta_{0503} * Econ3 - \beta_{0504} * Econ4 - \beta_{06} * Mpac + \beta_{07} * Atra - \\
 & \beta_{08} * Djpt + \beta_{09} * Garj + \beta_{10} * Nhab - \beta_{11} * Nase + \beta_{12} * Locn - \beta_{13} * Dist - \\
 & \beta_{14} * Cyac - \beta_{1501} * Zgeo1 - \beta_{1502} * Zgeo2 - \beta_{1701} * Cocu1 - \beta_{1702} * Cocu2 + \\
 & \beta_{1703} * Cocu3 + \beta_{1704} * Cocu4 + \beta_{18} * \log Scon - \beta_{19} * \log Ssue + \beta_{20} * \log Antg \\
 & - \beta_{21} * \log Nhab + \beta_{22} * \log Nase + \beta_{23} * \log Dist + \beta_{24} * sq Scon - \beta_{25} * sq Ssue \\
 & + \beta_{26} * sq Antg + \beta_{27} * sq Nhab + \beta_{28} * sq Nase + \beta_{29} * sq Dist + U_i
 \end{aligned}$$

4.5. ESTIMACIÓN Y VALIDACIÓN DEL MODELO

En este apartado se ha especificado una función con una forma flexible, logarítmica en la endógena y variables explicativas en forma lineal, cuadrática y logarítmica, que captan la relación entre el precio de venta de las viviendas y el resto de regresores de la función hedónica y que permite una interpretación sencilla de los coeficientes estimados. Una vez tomada esta decisión, conviene contrastar todos los supuestos implícitos en la misma (Johnston, 1984; Greene, 2003). Este proceso incluye la propia especificación, el efecto de las observaciones influyentes y outliers, la normalidad de las perturbaciones, la bondad del ajuste y significatividad global del modelo, la forma funcional, el contraste de la existencia de heterocedasticidad y autocorrelación, la selección de los regresores y el análisis de estabilidad y predictivo.

4.5.1. ESPECIFICACIÓN

La representación gráfica de los residuos puede revelar errores de especificación, como la omisión de una variable importante o una forma funcional incorrecta (McMillen, 2003). También es una herramienta útil para diagnosticar la heterocedasticidad y la autocorrelación. En la literatura no existe un consenso sobre el uso de una forma funcional concreta que estime con claridad las variables en el modelo hedónico (Freeman, 2003). Un problema inicial lo constituye el especificar y estimar la función del PH, llevando a cabo una regresión entre el precio y sus atributos, aplicando la forma funcional que produzca un mejor ajuste. Este es un problema empírico que tiene claras implicaciones en cuanto a la valoración. Igualmente, se pueden formular relaciones entre variables pero, rara vez se especifica claramente la forma funcional de dicha relación (Palmquist, 1984; Caridad y Brañas, 1996; Bover y Velilla, 2001; Jasper y Straaten, 2009; entre otros), como quedó demostrado en los puntos anteriores.

Las funciones de PH comúnmente, tienen especificaciones no lineales. Ello supone que el precio implícito de cada característica cambia con la cantidad de referencia a la misma; lo interesante, en este caso, es analizar el comportamiento que supone con respecto a su precio implícito cada una de las distintas especificaciones posibles (logarítmica, cuadrática, exponencial, transformación Box-Cox, etc.). Aquí se puede presentar un problema de presencia de doble resultado por la repetición de opinión de un grupo de personas. Las formas no lineales son fácilmente linealizables, tomando por ejemplo, logaritmos o empleando alguna otra transformación. Si se emplea la transformación logarítmica, los resultados de la estimación deben interpretarse en consecuencia así, en las relaciones doblemente logarítmicas, los estimadores dan directamente el valor en términos de elasticidad.

Finalmente, hemos decidido utilizar un método de regresión múltiple que gira en torno al ajuste de una forma funcional logarítmica en la endógena y con variables lineales, cuadráticas y logarítmicas en los regresores, en la que, las posibles transformaciones efectuadas sobre las variables, se justifican en la necesidad de cumplir las hipótesis básicas de la estimación de regresiones múltiples, y más concretamente, por MCO. Aclarar que la no inclusión de una metodología de transformación Box-Cox (1964) es debido a tres razones fundamentales: la forma funcional seleccionada con el modelo 5 para nuestro estudio se ha ajustado perfectamente con una bondad de ajuste bastante aceptable; se han cumplido todas

las hipótesis básicas de la estimación de regresiones múltiples por MCO como demostraremos posteriormente; y la explicación del significado de los coeficientes de las variables se facilita con una forma funcional más sencilla. No descartamos que en un trabajo posterior podamos incorporar la aproximación Box-Cox en cualquiera de sus vertientes (con o sin restricciones, flexible, cuadrática, etc.).

En este punto, es interesante aclarar que las estimaciones por MCO se obtienen de minimizar la suma de cuadrados de los residuos bajo una serie de supuestos que se pueden enunciar (siendo u_i la perturbación del modelo):

- i) $E(u_i) = 0 \forall i, E(u_i^2) = \sigma^2 \forall i, E(u_i u_j) = 0 \forall i \neq j$. Es decir, el término error tiene media cero y varianza constante para todas las observaciones.
- ii) Las variables independientes o regresores, de X_{1i} a X_{ki} , no son estocásticas sino fijas, y si fueran estocásticas no estarían correlacionadas con las perturbaciones del modelo.
- iii) Los regresores son linealmente independientes, es decir, el rango de la matriz de datos regresores X es K (siendo K el número de regresores) tal que no tiene columnas repetidas ni unas son combinaciones lineales de otras, cumpliendo la hipótesis de rango pleno tal que, $\text{rango}(X) = p(X) = k < N$ y que el número de parámetros a estimar, esto es, $K < N$.
- iv) Adicionalmente, podemos asumir que las perturbaciones son normales si queremos dar forma a los contrastes que vamos a realizar.

Uno de los aspectos que se deben tener en cuenta a la hora de formular un modelo econométrico es saber qué variables de las exógenas propuestas inicialmente van a incluirse en el modelo final, es decir, cerciorarse de que en la selección de estas variables estén las que más contribuyan a la explicación del comportamiento de la variable endógena del modelo. Para decidirlo, erigiremos la regresión del modelo con las treinta y cinco variables explicativas por el método de MCO. La regresión lineal múltiple por MCO ofrece los siguientes resultados para la especificación que hemos denominado Modelo 5:

Tabla 35. Modelo 5 por MCO. Observaciones 1-175. Variable dependiente I_Pvc

	<i>Coeficiente</i>	<i>Desviación Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
Const	1,0661	2,1715	0,4910	0,6242	
Scon	-0,0025	0,0023	-1,0568	0,2924	
Ssue	0,0003	0,0004	0,7414	0,4597	
Antg	-0,0141	0,0051	-2,7435	0,0069	***
Tipo	0,0037	0,0446	0,0841	0,9331	
Econ1	-0,5102	0,0795	-6,4182	0,00	***
Econ2	-0,3299	0,0637	-5,1749	0,00	***
Econ3	-0,2901	0,0527	-5,5018	0,00	***
Econ4	-0,1516	0,0366	-4,1361	0,00	***
Mpac	-0,0057	0,0424	-0,1337	0,8938	
Atra	0,0527	0,0809	0,6521	0,5154	
Djpt	-0,0371	0,0337	-1,1010	0,2728	
Garj	0,0228	0,0343	0,6653	0,5069	
Nhab	0,0753	0,1903	0,3956	0,6930	
Nase	-0,5074	1,1420	-0,4443	0,6575	
Locn	0,0669	0,0661	1,0132	0,3127	
Dist	-0,0007	0,0002	-2,9184	0,0041	***
Cyac	-0,1985	0,0653	-3,0409	0,0028	***
Zgeo1	-0,3669	0,10376	-3,5359	0,0005	***
Zgeo2	-0,2388	0,0779	-3,0694	0,0026	***
Cacu1	-0,1734	0,1410	-1,2304	0,2206	
Cacu2	-0,0464	0,1256	-0,3693	0,7124	
Cacu3	0,0008	0,1148	0,0069	0,994	
Cacu4	0,0421	0,0996	0,4234	0,6727	
I_Scon	1,2099	0,2366	5,1127	0,00	***
I_Ssue	-0,0014	0,0695	-0,0199	0,9841	
I_Antg	0,2075	0,0647	3,2048	0,0017	***
I_Nhab	-0,3157	0,4227	-0,7470	0,4563	
I_Nase	0,5260	1,0731	0,4902	0,6248	
I_Dist	0,9467	0,2971	3,1862	0,0018	***
sq_Scon	0,00	0,00	0,5593	0,5769	
sq_Ssue	0,00	0,00	-0,5713	0,5687	
sq_Antg	0,00	0,00	2,1531	0,0330	**
sq_Nhab	0,00	0,0102	-0,0078	0,9937	
sq_Nase	0,0590	0,1368	0,4314	0,6668	
sq_Dist	0,00	0,00	2,9974	0,0032	***

Media de la vble. dep.	12,0722	D.T. de la vble. dep.	0,5871
Suma de cuad. residuos	3,1497	D.T. de la regresión	0,1505
R-cuadrado	0,9475	R-cuadrado corregido	0,9342
F(35, 139)	71,6452	Valor p (de F)	0,00
Log-verosimilitud	103,2155	Criterio de Akaike	-134,4311
Criterio de Schwarz	-20,4988	Crit. de Hannan-Quinn	-88,2169

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

Tras un análisis del signo de los coeficientes, observamos que algunos de ellos son incoherentes con lo que nos puede llevar a pensar la lógica. Entre éstas, y que son significativas, destacamos la variable Econ4 que nos informa que, ante un estado de conservación bueno, la vivienda debería incrementar su valor y el signo de su coeficiente nos dice lo contrario. Otra variable confusa y significativa es el regresor Cyac con signo negativo, ya que debería ser positivo, es decir, esperaríamos que la cercanía a servicios de transporte público y de vías de comunicación aumentase el precio de la vivienda. También I_Antg y $sqAntg$, presentan signos incoherentes, ya que nos informa de que a mayor antigüedad, mayor valor de la vivienda. En cambio, otras variables, también significativas al 5%, sí coinciden con lo que nos puede llevar a indicar la lógica, entre éstas están: $Antg$, $Econ1$ y $Econ2$.

Especial referencia a la variable $Dist$ que tiene signo negativo cuando es lineal (a mayor cercanía al aeropuerto, el precio de la vivienda aumenta) aunque con un coeficiente muy poco representativo e influenciado en el precio por sí sólo, con un valor de $-0,0007$. Este resultado coincide con las conclusiones de Tomkins *et al.* (1998), Limpscomb (2003), McMillen (2004) o Cohen y Coughlin (2006). En cambio, $Dist$ presenta un signo positivo cuando está en logaritmos o al cuadrado, y ambas son significativas, a mayor distancia del aeropuerto, mayor valor tiene la vivienda, hecho que no es incoherente con algunos estudios revisados y comentados anteriormente (Espey y Lopez, 2000; Jasper y Straaten, 2009). A pesar de ello, la variable $Dist$, en todas sus formas, debe ser considerada de manera conjunta para saber su efecto total y no de manera individualizada.

A pesar de no ser significativa, merece tener en consideración la variable $Scon$ con un signo negativo, lo cual, no es coherente con lo que se esperaría, pero al estar esta misma variable en logaritmo y al cuadrado con signo positivo en nuestro modelo y, tener estas últimas un peso más significativo (mayor coeficiente) en la afectación final de la variable endógena, no supondrá un efecto global negativo para el modelo ni muy significativo.

Debemos matizar que suponemos que a menor número de años de antigüedad de la vivienda ($Antg$) y a mayor distancia del foco emisor del ruido ($Dist$), el precio de la vivienda debería aumentar. Es por ello, que ambas variables al cuadrado podrían reflejar esa evolución y además, ambas son significativas en el modelo 5, con probabilidades valor de p de 0,0330 y 0,0032 respectivamente. El modelo pasa a tener una mejor bondad del ajuste con la inclusión de estas dos variables. La antigüedad no

debemos analizarla sólo en logaritmos o sólo lineal, sino que hay que considerarla conjuntamente a pesar de los signos contradictorios y de no ser significativa la variable S_{con} . El resto de regresores, algunos coinciden y otros no con lo que podríamos esperar de sucediese, pero no son significativos en este momento del estudio. Con la aplicación de *stepwise backward* habrá cambios y eliminaciones de variables que harán modificar los coeficientes y su valor p . El motivo de esta incoherencia en los signos puede haber sido acontecido por la falta de información o datos extraños, o porque no se pudieron incluir otras variables explicativas relevantes *a priori*, (valor catastral, nivel de delincuencia en la zona, número de centros educativos, etc.).

Llegados a este punto y dado que el modelo es globalmente significativo, decidimos eliminar las variables explicativas con un coeficiente más alto (*stepwise backward*), es decir, que no sean significativas, de mayor a menor probabilidad según el estadístico de contraste *t-student* a dos colas, descartando primero las que tengan un signo incoherente con la teoría económica, volviendo a estimar en cada caso, el modelo sin la variable eliminada anteriormente, hasta el punto en el que el modelo continúe, al menos, globalmente significativo o mejore. Podemos considerar individualmente cada regresor y contrastar:

Hipótesis nula: $\beta_j = 0$

Hipótesis alternativa: $\beta_j \neq 0$

donde la hipótesis nula implica que, dada la especificación del modelo una vez se ha controlado por el resto de factores incluidos como variables explicativas, el efecto marginal de la variable X_j sobre el valor medio de la variable dependiente es cero. El nivel de significación tanto para el contraste de significatividad individual como conjunta seleccionado será del 5%. Este proceso continúa hasta que todos los ratios *t-student* individuales de las variables explicativas que se mantienen en el modelo, caigan en la región de rechazo de la hipótesis nula, es decir, indicamos que la variable en estudio es significativa o que el coeficiente es significativamente distinto de cero.

Otra manera de llevar a cabo este contraste es utilizando el valor p . Este valor es una probabilidad e indica cuál sería el menor nivel de significación que se tendría que elegir para rechazar la hipótesis nula, dada la realización muestral del estadístico. En nuestro caso, su valor debe ser inferior a 0,05 para poder rechazar la hipótesis nula.

Aun cuando el modelo seleccionado mediante los diferentes procedimientos *stepwise* tenga muchas posibilidades de ser el modelo correcto, o al menos un modelo que contenga al verdadero, nunca se tendrá la seguridad total de que así sea.

Hay decisiones previas al inicio del proceso, como la determinación de los niveles de confianza del contraste *t-student* de significación individual, que afectan claramente a la especificación final del modelo. Añadiremos que una vez finalizado el proceso, en la mayoría de los casos, el número de modelos chequeados es inferior al número de modelos plausibles. Para reducir el efecto de este inconveniente, Hoover y Perez (1999) proponen que del paso 1 de la regresión *stepwise*, surjan más de un modelo candidato, a partir del cual seguir el procedimiento descrito. Cada uno de estos modelos iniciales configuraría lo que estos autores denominan “sendas” que terminarán en propuestas factibles de ser estudiadas con posterioridad mediante contrastes de abarcamiento. En nuestro caso, chequearemos siempre el mismo modelo, pero con la inclusión y la omisión de variables explicativas, siendo un proceso flexible y de avance y retroceso, hasta alcanzar nuestro modelo definitivo, partiendo constantemente del Modelo 5.

Hay que tener en cuenta que la selección de regresores está íntimamente ligada a la forma funcional de la especificación. Ésta cambiará en la medida que se decida introducir como regresores el cuadrado de alguna de las variables explicativas, los efectos de su interacción, o la transformación logarítmica de alguna de ellas, por señalar tan sólo algunos ejemplos. Debemos resaltar que las únicas variables que no serán eliminadas serán las relacionadas con la contaminación acústica. De esta forma iremos eliminando variables no significativas hasta que la variable en cuestión sea significativa y el modelo mejore. Tras ello, nos percataremos que eliminamos algunas variables relevantes que, *a priori*, son importantes para explicar la contaminación acústica de nuestra área de estudio.

Una vez llevado a cabo una serie de pruebas estadísticas, resolvemos elegir el modelo final que se expone en la Tabla 36, en el cuál, mantenemos variables relevantes para nuestro objeto de estudio (Cacu). Por la parte izquierda de la ecuación definimos que el logaritmo del precio de venta es la forma funcional que mejor se ajusta como variable endógena. Se eliminaron todas las variables no significativas individualmente con un nivel de significación inferior al 0,05. A pesar de que, nuestra bondad del ajuste disminuye en comparación con el Modelo 5, todos los regresores

son significativos al 5%. El modelo final, una vez eliminadas las variables no significativas, es:

Tabla 36. Modelo Final por MCO. Observaciones 1-175. Variable dependiente I_Pvc

	<i>Coefficiente</i>	<i>Desviación Típica</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Valor p</i>	
const	10,3603	0,1555	66,6296	0,00	***
Scon	0,0033	0,0003	10,9082	0,00	***
Econ1	-0,3464	0,0948	-3,6540	0,0003	***
Econ2	-0,2307	0,0738	-3,1247	0,0021	***
Econ3	-0,1045	0,0471	-2,2198	0,0278	**
Garj	0,1356	0,0477	2,8444	0,0050	***
Nhab	0,0576	0,0168	3,4311	0,0008	***
Zgeo2	-0,1152	0,0546	-2,1104	0,0364	**
Cacu2	0,1494	0,0656	2,2771	0,0241	**
Cacu3	0,3123	0,0579	5,3959	0,00	***
Cacu4	0,2758	0,0645	4,2736	0,000	***
I_Ssue	0,1089	0,0327	3,3297	0,0011	***
sq_Antg	0,00	0,00	-2,1907	0,0299	**
sq_Dist	0,00	0,00	5,5826	0,00	***

Media de la vble. dep.	12,0722	D.T. de la vble. dep.	0,5871
Suma de cuad. residuos	10,0376	D.T. de la regresión	0,2497
R-cuadrado	0,8326	R-cuadrado corregido	0,8191
F(13, 161)	61,6082	Valor p (de F)	0,00
Log-verosimilitud	1,7998	Criterio de Akaike	24,4003
Criterio de Schwarz	68,7074	Crit. de Hannan-Quinn	42,3725

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

Es aquí cuando se requiere realizar una interpretación de los coeficientes estimados, resaltando varios datos o matices que nos muestra la regresión y que conviene tenerlos en cuenta:

1. Se siguen manteniendo ciertas incongruencias con lo que nos podría indicar la lógica con respecto a los signos de los coeficientes estimados que acompañan a ciertas variables de la regresión, pero quizás, para nuestra zona de estudio, los dB percibidos por las viviendas cercanas no afectan tan significativamente al precio de las viviendas, e incluso, a mayor afectación,

mayor valor. Las variables ambientales presentan signos positivos, siendo más llamativo que de 60 a 75 dB, sea un efecto positivo sobre el precio de la vivienda. Esto tiene una explicación plausible que puede entenderse por varios motivos:

- Las casas más cercanas al aeropuerto son urbanizaciones de lujo.
 - La incidencia por el ruido de las aeronaves militares es mínimo ya sea por los procedimientos de despegue hacia el mar o por el número mínimo de operaciones anuales.
 - Varios autores comentados en apartados anteriores coinciden con nuestros datos finales y concluyeron que a mayor cercanía (mayor ruido percibido), mayor precio de las viviendas (Morrison *et al.*, 1999; Tomkins *et al.*, 1998; Lipscomb, 2003; o Cohen y Coughlin, 2006).
 - En la zona existe una amplia gama de servicios hospitalarios, zonas verdes, cercanía de autopistas y autovías, facilidad de acceso, etc., ampliamente valorados por los ciudadanos. Así como, la posibilidad de obtención de trabajo y servicios extras proporcionados por el propio aeropuerto civil.
 - La aglomeración de viviendas es muy cercana al aeropuerto por la falta de disponibilidad de terreno urbano edificable. Gran Canaria cuenta con 33 espacios protegidos que ocupan casi el 43% de la superficie insular⁷⁶.
2. Debemos reseñar que el modelo ya es globalmente significativo porque el resultado del Prob (F-statistic) es 1,56e-55, inferior a un 5% por lo que se acepta la hipótesis nula.
 3. La bondad del ajuste no se ha visto afectada en gran medida. Aunque ha disminuido, todas las variables se muestran significativas a un 5% de significatividad. El coeficiente de determinación R^2 sigue siendo muy

⁷⁶ Véase http://www.grancanaria.com/patronato_turismo/30247.0.html?id_ficha=30248&idioma=1.

aceptable. Las variables exógenas explican el 83,26% de la dispersión de la variable endógena, por lo que, en principio, la bondad del ajuste es muy buena. El coeficiente de determinación corregido tiene la misma interpretación con el 81,91%.

4. La forma funcional a través del estadístico *Reset de Ramsey* nos informa que es correcta con un estadístico de contraste $F = 29,2646$, y una probabilidad con valor $p = P(F(2,159) > 29,2646) = 1,51e-011$.

En definitiva, el modelo final que será sometido a validación será:

$$\log Pvc_i = \beta_0 + \beta_{01} * Scon - \beta_{0501} * Econ1 - \beta_{0502} * Econ2 - \beta_{0503} * Econ3 + \beta_{09} * Garj + \beta_{10} * Nhab - \beta_{1502} * Zgeo2 + \beta_{1702} * Cocu2 + \beta_{1703} * Cocu3 + \beta_{1704} * Cocu4 + \beta_{19} * \log Ssue - \beta_{26} * sqAntg + \beta_{29} * \log Dist + U_i$$

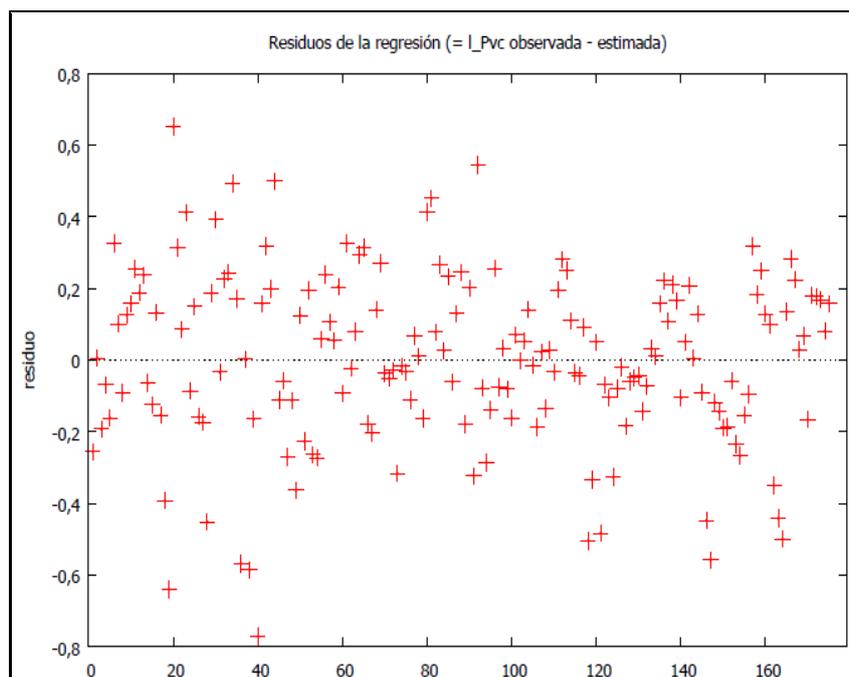
4.5.2. OBSERVACIONES INFLUYENTES Y OUTLIERS

Ya sea en la inferencia estadística como en el análisis de los datos de una muestra, es fundamental evaluar la calidad, fiabilidad y consistencia de los datos sujetos a estudio. Para detectar la existencia de *outliers* u observaciones influyentes en el modelo, debemos realizar el contraste de residuos estandarizados. Con ello conoceremos cada residuo estandarizado y nos permitirá compararlos con el intervalo crítico de referencia de una distribución $N(0,1)$, considerado en este caso, un intervalo de $(2,-2)$. Plantearemos el siguiente contraste:

Hipótesis nula: No es outlier

Hipótesis alternativa: Sí es outlier

Gráfico 14. Residuos del modelo estimado. Log Pvc y 175 observaciones

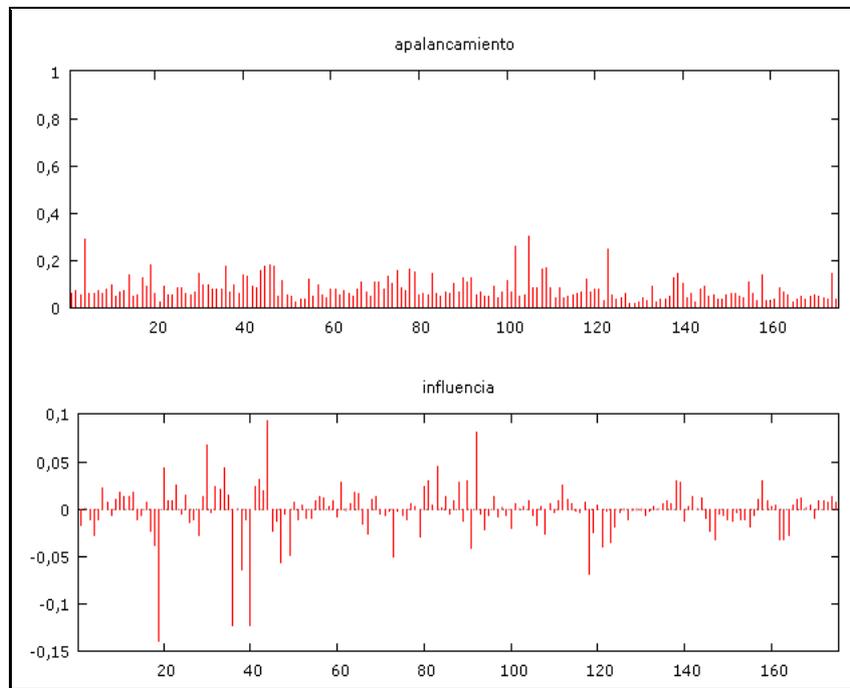


Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Gretl.

Los residuos se disponen alrededor del valor cero ya que esta es su media muestral. La dispersión de estos residuos, analizando la Gráfico anterior, es mayor para las 100 primeras observaciones de la muestra. Reflejamos que, en función del intervalo elegido, no hay presencia significativa de *outliers*. Incidir en la observación 19

y 40 que se alejan de la zona central pero que no superan el intervalo previo seleccionado (2,-2) dando un valor de -1,350 y -1,372 respectivamente.

Gráfico 15. Apalancamiento e influencia de las observaciones



Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Gretl.

Esta última Gráfico nos indica que existen una serie de puntos de apalancamiento, en las observaciones 4, 19, 36, 45, 46, 47, 78, 102, 105, 108, 109 y 123. Estos individuos atípicos cuyos errores son anormalmente altos pueden tener una influencia potencial o real para modificar sustancialmente el plano de la regresión, es decir, los parámetros estimados del modelo. Para comprobarlo, seguiremos a Huber (1981) el cual nos advierte que en las observaciones 4, 102, 105 y 123, tendrían un posible riesgo pero no una influencia asegurada. Los valores h_{ii} son todos muy inferiores a 0,5, y teniendo en cuenta el hecho de que una observación presente mayor peso o capacidad informativa, no tiene por qué ser en principio, algo negativo. Por ello, no eliminaremos ninguna observación.

Tabla 37. Observaciones con apalancamiento

OBS.	RESIDUO u	APALANCAMIENTO $0 \leq h \leq 1$	INFLUENCIA $u \cdot h / (1-h)$	DFFITS
4	-0,0682	0,291	-0,0279	-0,207
19	-0,6403	0,179	-0,1393	-1,350
36	-0,5678	0,177	-0,1225	-1,184
45	-0,1105	0,177	-0,0238	-0,226
46	-0,0584	0,183	-0,0131	-0,122
47	-0,2704	0,173	-0,0566	-0,546
78	0,0107	0,162	0,0021	0,020
102	-0,0007	0,258	-0,0002	-0,002
105	-0,0139	0,301	-0,0060	-0,044
108	-0,1353	0,163	-0,0264	-0,261
109	0,0278	0,170	0,0057	0,055
123	-0,1043	0,250	-0,0348	-0,278

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

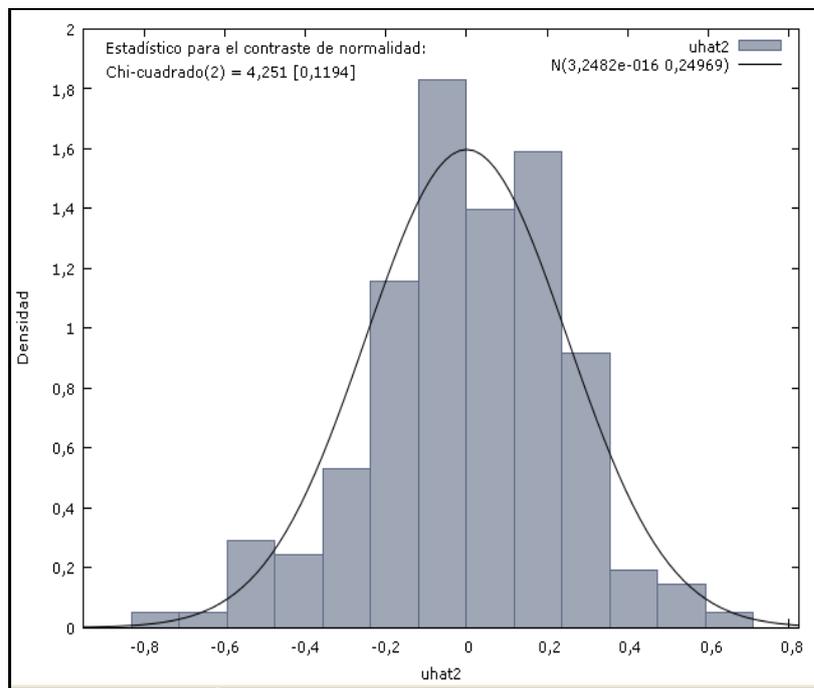
4.5.3. NORMALIDAD DE LAS PERTURBACIONES

Según la regresión por MCO, los residuos deben presentar una distribución normal con media cero y varianza constante, es decir,

$$E(u_i) = 0 \quad \forall i, \quad E(u_i^2) = \sigma^2 \quad \forall i, \quad E(u_i u_j) = 0 \quad \forall i \neq j$$

Un aspecto importante para su análisis es la representación gráfica de los residuos. Concretamente, recurriremos al gráfico de la distribución de las frecuencias (histograma) de los valores de los residuos (Gráfico 16). En este punto debemos comparar la forma de esta distribución con la que teóricamente, presenta la distribución normal que sería unimodal, simétrica y, ciertamente, acampanada.

Gráfico 16. Estadístico para el contraste de normalidad. Gráfica de residuos. Chi-cuadrado



Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

Para estudiar la normalidad de los residuos del modelo estimado, haremos uso, en un primer momento, del estadístico de contraste de normalidad propuesto por Doornik

y Hansen (1994) con una Chi-cuadrado de dos grados de libertad. Observamos una probabilidad de 0,1194 para una Chi-cuadrado (2) (5,99) de 4,2506, ubicándose en la región de aceptación, con lo que aceptamos la hipótesis nula, es decir, las perturbaciones se distribuyen de manera normal.

Otro estadístico interesante es el de contraste de normalidad de Jarque y Bera (1980), basado en los coeficientes de asimetría y curtosis (o apuntalamiento) de los residuos de la regresión donde, a medida que el coeficiente de asimetría (-0,3583) y curtosis (0,4240) se aproximan a 0 y 3 respectivamente, la probabilidad de normalidad de los residuos por el resultado de un menor valor del índice de *Jarque Bera*, aumenta. Dicho lo cual, con un valor de 5,0563 para una Chi-cuadrado con dos grados de libertad (5,99) y una probabilidad p de 0,0798, aceptaríamos la hipótesis nula de normalidad de residuos, reforzando la idea de que no existe evidencia, estadísticamente significativa para rechazar la normalidad de los residuos.

Tabla 38. Distribución de frecuencias para *what2*. Observaciones 1-175. Número de cajas = 13, media = -3,2482e-016 y desv.típ. = 0,2497

INTERVALO		PUNTO MEDIO	FRECUENCIA	RELATIVA	ACUMULADA	
< -0,7120		-0,7120	1	0,57%	0,57%	
-0,7120	-0,5935	-0,6528	1	0,57%	1,14%	
-0,5935	-0,4749	-0,5342	6	3,43%	4,57%	*
-0,4749	-0,3563	-0,4156	5	2,86%	7,43%	*
-0,3563	-0,2378	-0,2970	11	6,29%	13,71%	**
-0,2378	-0,1192	-0,1785	24	13,71%	27,43%	****
-0,1192	-0,0006	-0,0599	38	21,71%	49,14%	*****
-0,0006	0,1180	0,0587	29	16,57%	65,71%	*****
0,1180	0,2365	0,1772	33	18,86%	84,57%	*****
0,2365	0,3551	0,2958	19	10,86%	95,43%	***
0,3551	0,4737	0,4144	4	2,29%	97,71%	
0,4737	0,5922	0,5329	3	1,71%	99,43%	
>= 0,5922		0,6515	1	0,57%	100,00%	

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

Como se refleja en la Tabla 38, el 81,71% de los residuos se encuentran ubicados en un intervalo comprendido entre -0,2378 y 0,3551.

4.5.4. BONDAD DEL AJUSTE Y SIGNIFICATIVIDAD GLOBAL DEL MODELO

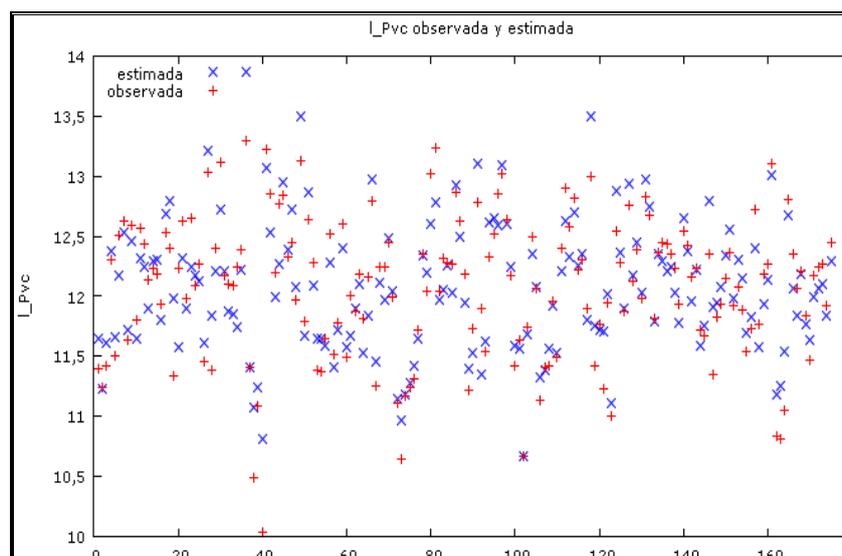
Una de los principales objetivos de un primer análisis de regresión de un modelo determinado es la de contrastar si son o no estadísticamente relevantes y significativas, en su conjunto y, si las variables que hemos considerado como explicativas de la variable dependiente también lo son. El objetivo es alcanzar una bondad del ajuste adecuada tal que no existan grandes discrepancias entre los valores observados y los esperados que obtenemos de la regresión del modelo de estudio. Es evidente que cuanto más acertado sea el ajuste, más eficaz será la regresión, a la finalidad de obtener los valores de la variable regresando a partir de la información sobre la variable regresora. Todo lo cual, una vez averiguada la especificación correcta.

Un modelo inadecuado puede tener graves consecuencias sobre las propiedades de los estimadores, de ahí la utilización de procedimientos adecuados para contrastar la bondad de la especificación. Añadir que el procedimiento por MCO que hemos empleado en nuestra regresión nos garantiza que la recta de la regresión obtenida es la que proporciona la menor suma de cuadrados de los residuos.

Los datos obtenidos ponen de manifiesto que el modelo es globalmente significativo porque el resultado del Prob (F-statistic) es $1,5e-55$, muy inferior a un 5%, por lo que se acepta la hipótesis nula. Es decir, las variables en su conjunto son significativas según el test de significatividad global F. Además, el coeficiente de determinación R^2 sigue siendo muy aceptable, expresado de otra manera, las variables exógenas explican el 83,26% de la dispersión de nuestra variable endógena, por lo que, en principio, la bondad del ajuste es buena. El coeficiente de determinación corregido tiene la misma interpretación con el 81,91%. En definitiva, existen variables que no han sido tenidas en cuenta en nuestro modelo y su efecto están inmersas en el término de error, por lo que, explicarían la mínima proporción restante de la variabilidad total de la endógena.

Uno de los gráficos que ilustra la bondad del ajuste de nuestro modelo es el que representa a la variable endógena estimada y observada por número de observación. En la Gráfico 17 se puede advertir que el valor estimado del precio de las viviendas en la muestra en logaritmo (cruces azules), coincide relativamente con los valores observados de la variable (cruces rojas), a través del modelo elegido para la estimación.

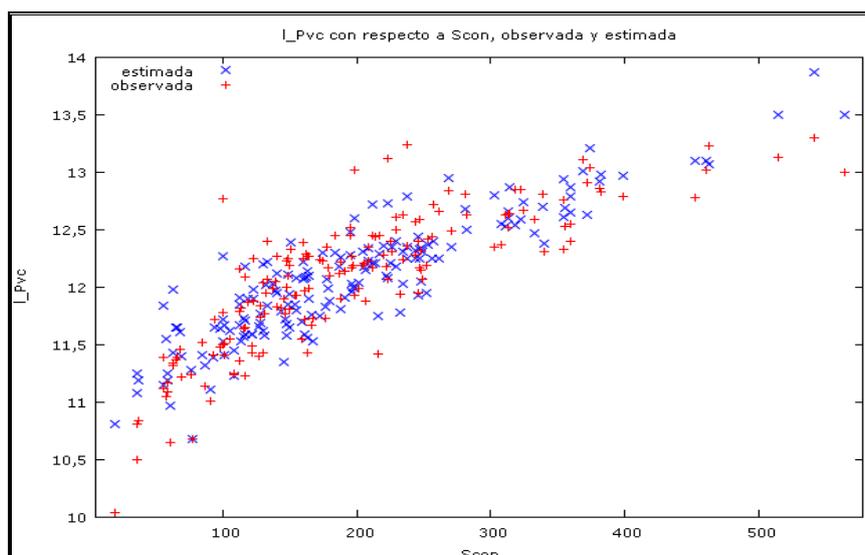
Gráfico 17. Variable estimada y observada por número de observación



Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

En el gráfico de la Gráfico 18, se observa como el modelo se ajusta mejor a las observaciones asociadas a las viviendas de un tamaño de entre 100 y 250 m² de superficie construida y un precio de entre 89.321,72 y 242.801,62 euros, los puntos están más concentrados en esa zona. El ajuste es peor para viviendas de superficies construidas superiores a 250 m² e inferiores a 100 m².

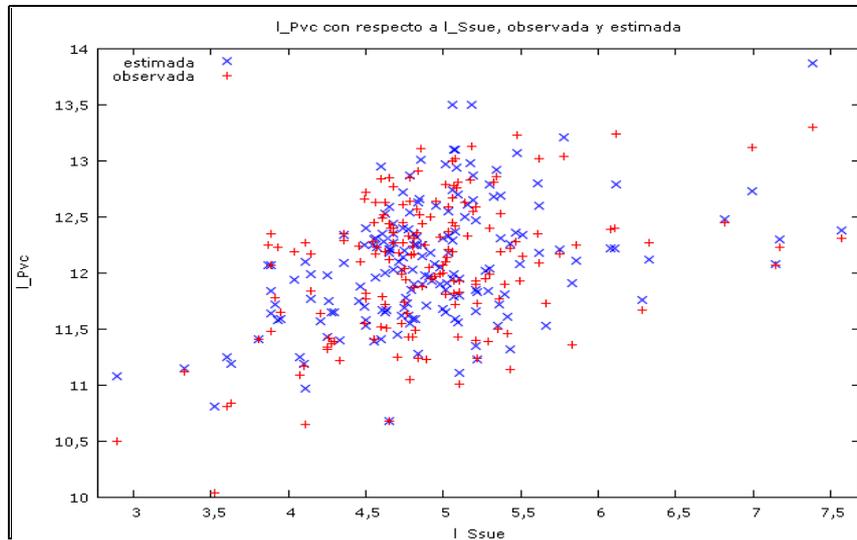
Gráfico 18. Variable endógena observada y estimada respecto a Scon



Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

Otra Gráfico interesante es la siguiente:

Gráfico 19. Variable endógena observada y estimada respecto a LogSsue



Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

En la Gráfico 19, se detecta claramente la concentración de valores que existe entre 4,5 y 5,5 logaritmos superficie m^2 y, entre 11,5 y 13 log del precio en euros. En términos unitarios, las observaciones se ajustan mejor a las viviendas de un tamaño comprendido entre 90,02 y 244,70 m^2 de superficie, y un precio entre 98.715,77 y 442.413,39 euros.

4.5.5. HIPÓTESIS Y CONTRASTES: FORMA FUNCIONAL Y CAMBIO ESTRUCTURAL, HETEROCEDASTICIDAD Y AUTOCORRELACIÓN, MULTICOLINEALIDAD

La forma funcional no tiene por qué corresponder con una ecuación lineal, y más aún cuando lo que estamos estudiando es la relación entre el precio de las viviendas y una serie de variables explicativas muy diferenciadas entre ellas. Es decir, si aumentamos los metros cuadrados construidos de una vivienda concreta, necesariamente no tiene por qué incrementarse el precio de esa vivienda de manera constante en función de los mismos. Es más, la experiencia empírica nos lleva a adoptar formas funcionales logarítmicas o semilogarítmicas.

La forma funcional de la ecuación hedónica tiene que ser determinada de los datos. Los primeros estudios hedónicos escogieron entre las formas funcionales simples como la lineal, semilog, log-lineal y log-log, o incluso la Box-Cox lineal. Con los avances computacionales se introdujo mayor flexibilidad a través de la forma funcional Box-Cox cuadrática. Esta transformación aplicada a todas las características y, concretamente a la ambiental, podría provocar que esta última estuviese enormemente influenciada por las restantes e incluso, llevamos a una transformación errónea. Debido a esta preocupación, Booz-Allen y Hamilton Inc. *et al.* (1994), Caridad y Brañas (1996), Bilbao (2000), entre otros, defendieron el uso de formas funcionales más simples en sus estudios. Otro problema potencial con la transformación Box-Cox cuadrática es la posibilidad de que variables omitidas o mal especificadas en la ecuación hedónica podrían reducir la deseabilidad de introducir mayor flexibilidad local (Cropper *et al.*, 1988). Para verificar este fin, realizaremos un contraste de no linealidad (cuadrados) donde la aceptación de la hipótesis nula nos indica que la relación es lineal. El R^2 revelado es de 0,3553 y el estadístico de contraste TR^2 es igual a 62,1812, con un valor p (Chi-cuadrado(2) > 62,1812) igual a 4,3014e-12. Con estos resultados, confirmamos que existe una relación lineal, por lo que la forma funcional lineal es correcta.

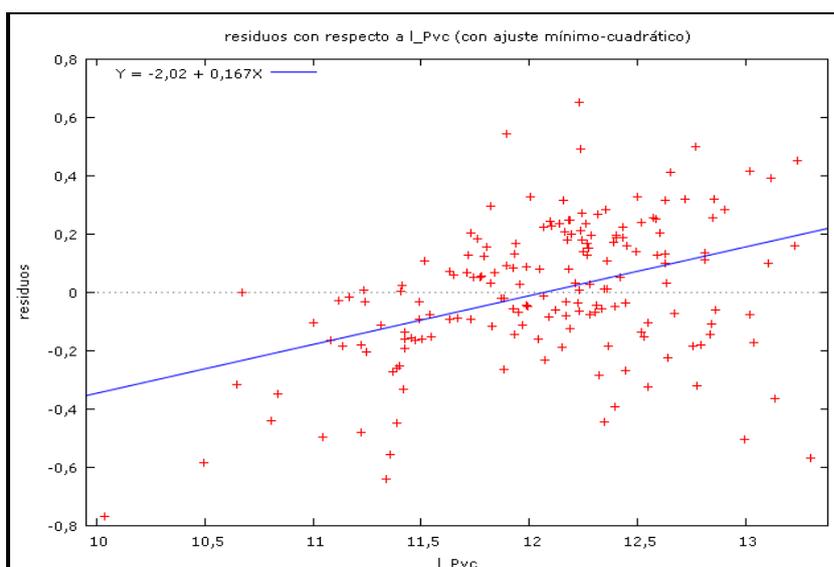
El supuesto de la linealidad consiste en considerar que las relaciones entre las variables involucradas en el modelo sean lineales, lo cual implica tomar en cuenta tanto los parámetros como el comportamiento de las variables. Ahora bien, es posible que las ecuaciones tengan una relación lineal con respecto a los parámetros, pero no con respecto a las variables, lo cual introduciría una dificultad para la aplicación del método de MCO y tendríamos que volver a especificar el modelo. De todas maneras,

para corroborar que la relación entre las variables consideradas es lineal, hemos utilizado el contraste de *Ramsey Reset*, que consiste en estimar la ecuación de la regresión y conservar los valores ajustados de la endógena.

En este momento es cuando estimamos la misma ecuación, añadiendo como variable explicativa la endógena ajustada elevada al cuadrado y se contrasta la significación individual de ésta, con el contraste *t-student*. Si el coeficiente resultante es significativamente igual a cero, se aceptaría la linealidad de la relación. Para nuestro modelo, la forma funcional elegida es correcta, con una probabilidad del $1,51e-11$, y un estadístico de contraste $F(2,159)$ de 29,2646 incluyendo los términos cuadráticos y cúbicos, cayendo en la región de aceptación de la hipótesis nula. Además, el valor de la variable endógena al cuadrado y al cubo, resultan no significativas con un 0,6525 y 0,8116 de probabilidad, respectivamente. Por lo tanto, su forma funcional es correcta, es decir, es un modelo log-lin con un regresor en forma logarítmica y dos regresores en forma cuadrática.

Otra manera sencilla de corroborar la linealidad entre las variables del modelo es con la observación del gráfico resultante de representar sobre un plano los valores de los errores de la regresión con los valores ajustados de la endógena (Gráfico 20). Podemos afirmar que la especificación lineal es la más adecuada ya que no se aprecia ningún comportamiento sistemático.

Gráfico 20. Valores absolutos de los errores versus variable endógena ajustada



Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

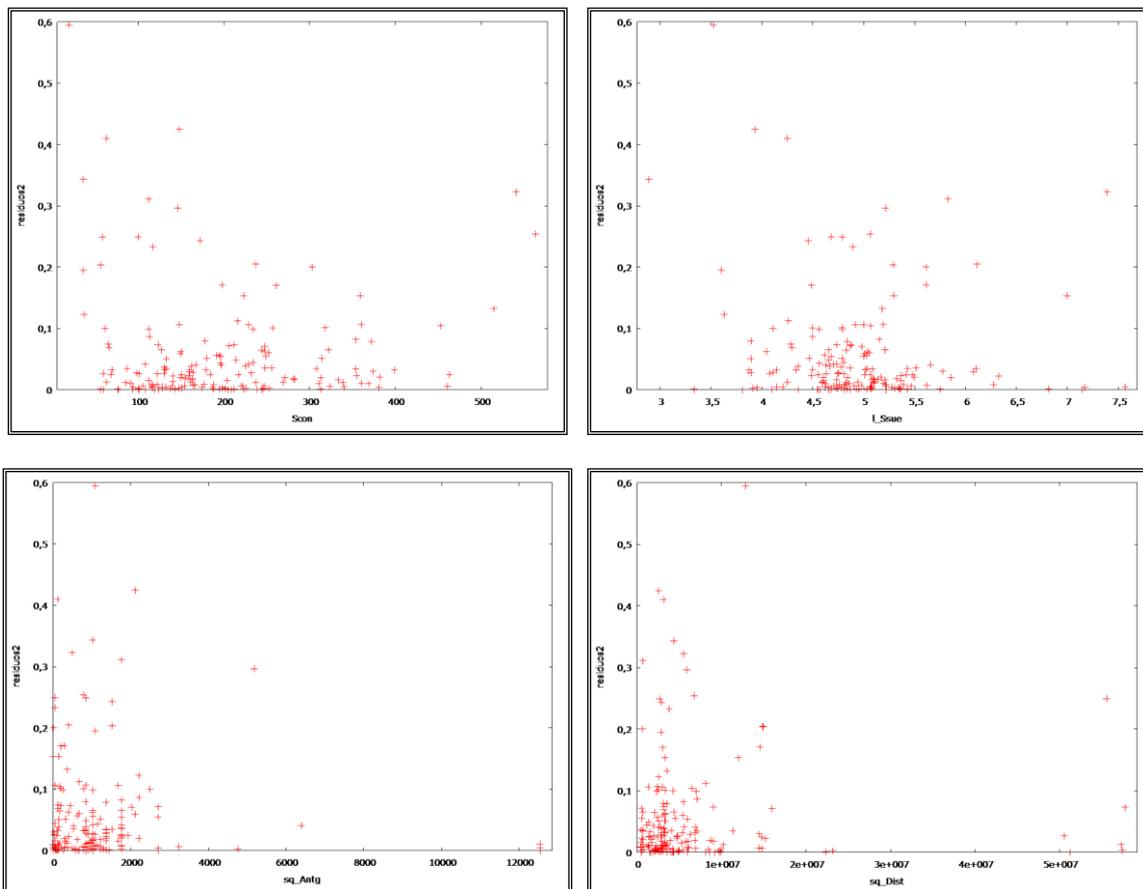
En lo referente al cambio estructural, podríamos suponer que pudiese existir un cambio estructural en función del tipo de vivienda o la zona geográfica, por ello, debemos de contrastar la estabilidad dentro de la muestra (intra-muestral) de los parámetros de nuestra relación, y para ello, dividimos la muestra total en dos submuestras de tamaño casi igual, n_1 y n_2 , tal que hemos realizado el test de chow a partir de la observación 88 con los siguientes datos: $F(13, 148) = 1,5001$ con valor p 0,1235. Al ser el estadístico de prueba menor que el valor en las tablas, la conclusión es que se acepta la hipótesis nula, es decir, no existe cambio estructural y se considera la igualdad de los coeficientes β_i en las dos submuestras, lo que constituye un conjunto de k hipótesis lineales (Novales, 1993). Por último, no debemos olvidar que este contraste tiene una serie de limitaciones, a saber: debemos conocer el posible punto de cambio, pierde potencia ante muestras pequeñas y es sensible a la heterocedasticidad, hecho este último, que probaremos en este apartado.

La premisa fundamental en un modelo de regresión lineal es que la varianza de las perturbaciones aleatorias sea constante, es decir, la varianza condicional de la endógena $\log Pvc_i$, condicional a las variables explicativas, permanezca igual sin importar los valores que tomen dichas variables, es decir, $E(u_i^2) = \sigma_u^2$. Las causas principales por las que puede surgir la heterocedasticidad es, fundamentalmente, en modelos de corte transversal con unidades de distinto tamaño, por la presencia de datos atípicos, por presencia de subgrupos en la población con dispersiones diferentes, por errores de especificación del modelo (forma funcional errónea, omisión de variables relevantes, etc.) y por el diseño de recogida de datos (datos agregados o medios, etc.).

Entre los supuestos en los que se fundamenta el modelo clásico de regresión lineal, el de homocedasticidad es uno de los más importantes en cuanto que su incumplimiento afecta a las propiedades de los estimadores MCO en el sentido de que la heterocedasticidad provoca estimadores ineficientes aunque continúan siendo insesgados. El estimador MCO mantiene la consistencia y la normalidad asintótica, pero es necesario corregir de alguna forma la matriz de covarianzas de cara a la inferencia. En lo que al análisis de perturbaciones aleatorias se refiere, el estimar con datos de corte transversal, conlleva la posible presencia de heterocedasticidad, con el consiguiente incumplimiento de las propiedades probabilísticas de los estimadores obtenidos. La propia naturaleza de los datos o el tipo de problema nos puede indicar la posible presencia de heterocedasticidad.

En primer lugar, haremos un análisis gráfico de los residuos, representando los errores absolutos en el eje de ordenadas sobre la endógena en el eje de abscisas (Gráfico 20) y, por otro lado, los errores cuadráticos en el eje de ordenadas sobre las variables explicativas no dicotómicas de nuestro modelo (Scon, logSsue, sqAntg y sqDist) en el eje de abscisas (Gráfico 21). Con ello, podemos observar un ajuste entre los residuos y la variable endógena de manera lineal conforme aumentamos el precio de la vivienda. Asimismo, existen una serie de datos atípicos que se pueden observar en la Gráfica 21 debido a que están muy alejados de los valores medios. Para confirmar que puede existir heterocedasticidad, también elaboramos el estudio con las variables cruzadas, mediante la comprobación gráfica de residuos al cuadrado frente a cada una de las exógenas, dando como resultado que ninguno de los gráficos nos indica una relación clara entre las variables exógenas y los residuos al cuadrado, y entre la variable endógena y los residuos en valores absolutos.

Gráfico 21. Variables exógenas Scon, logSsue, sqAntg y sqDist frente a los residuos al cuadrado (residuos2)



Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Gretl.

Una primera aproximación (Gráfica 21) nos indica que en el gráfico residuos2 frente a Scon, los datos atípicos son debidos a viviendas con más de 450 metros cuadrados. En el gráfico residuos2 frente a LogSsue, el problema lo presentan las viviendas con una superficie superior a 900 metros cuadrados. En el gráfico residuos2 frente a SqAntg, los datos atípicos se revelan para viviendas muy antiguas, con más de 50 años. Y, por último, el gráfico donde los residuos al cuadrado se representan en el eje de coordenadas y la variable Sqdist, en el eje de abscisas, lo que se manifiesta es que los datos atípicos están representados por viviendas muy alejadas del foco emisor del ruido, es decir, viviendas a más de 4 kilómetros de la pistas del aeropuerto.

Pero no nos podemos quedar sólo con el análisis gráfico, para conocer si el modelo es o no homocedástico (varianzas constantes) haremos una prueba analítica, utilizaremos el contraste de White, ya que parece ser el más robusto, al no necesitar supuestos básicos previos como la normalidad de los residuos (Gujarati, 2003), y más concretamente, lo utilizaremos con términos cruzados. Este contraste plantea que para detectar la heterocedasticidad de alguna forma desconocida en el modelo, se debe realizar una regresión auxiliar sobre los errores al cuadrado como variable endógena contra una constante, todas las variables exógenas al cuadrado y los productos cruzados de las mismas, eliminando las redundancias, para posteriormente, multiplicar el R^2 calculado de la regresión sobre los errores al cuadrado y multiplicarla por el número de observaciones (N) que en nuestro caso es 175, asumiendo una distribución Chi-cuadrada con 90 regresores en la regresión auxiliar excluida la constante.

El R^2 resultante de la regresión es 0,7478, relativamente alto, por lo que el estadístico de contraste sería $N \cdot R^2$ que es igual a 130,8676, mayor que el valor crítico Chi-cuadrado al 5% de 113,1. Finalmente, el valor p (Chi-cuadrado (90) > 130,8676) es igual a 0,0032 con una probabilidad del 95%. Cae en la región de rechazo de la hipótesis nula, por lo que nuestro modelo es heterocedástico. En este punto, realizaremos en contraste de White pero sólo con términos al cuadrado, y el mismo nos certifica la presencia de heterocedasticidad ya que el R^2 es de 0,2773, el estadístico de contraste es de 48,5239 con un valor p para 18 grados de libertad de 0,0001.

De manera adicional, llevamos a cabo el contraste de Breusch-Pagan (Greene, 2003) que no arroja el mismo resultado. Este test utiliza los residuos obtenidos de la regresión original, los eleva al cuadrado y los presenta contra las variables independientes. Se distribuye como una Chi-cuadrado con p-1 grados de libertad

donde p es el número de regresores en la regresión auxiliar, que en nuestro caso es 13 sin la constante. Su estadístico de contraste sería la suma de los cuadrados de los residuos, 31,3427, entre dos, resultando 15,6713, con un valor p (Chi-cuadrado (13) > 15,6713) de 0,2673. El estadístico de prueba arroja un valor inferior al valor Chi-cuadrado con 13 grados de libertad que es 22,4. Con ello, aceptaríamos la hipótesis nula por lo que el resultado obtenido nos informa que nuestro modelo es homocedástico.

Apreciamos una contradicción entre ambos modelos. Cabe decir, que en el contraste de White, el punto 113,1 es el percentil de orden 0,05 de la distribución Chi-cuadrado con 90 grados de libertad, es decir, muy cercano a 130,8677. Además, gráficamente hemos representado los valores absolutos de los errores en el eje de ordenadas y en el eje de abscisas la variable endógena ajustada, y no hemos detectado un patrón de comportamiento claro que nos indica la existencia de heterocedasticidad. También puede haber un patrón de comportamiento con el logCons. Pero la clave en nuestros datos de corte transversal son los puntos alejados de la media. Para aclarar esta situación, realizaremos otro contraste, el de Breusch-Pagan con variante robusta de Koenker y arroja unos resultados que nos confirman la homocedasticidad de nuestro modelo ya que, la suma de cuadrados explicada es de 0,1031, con un estadístico de contraste de 12,9301 y un valor p para 13 grados de libertad de 0,4532.

Por último, y con la finalidad de confirmar o no la homocedasticidad de nuestro modelo de manera clara y sin ambages, realizaremos el contraste de Goldfeld-Quandt (Greene, 2003). Primero, ordenaremos la matriz de datos en función de las variables que creemos causan la heterocedasticidad, en nuestro caso *LogSsue*, según su gráfica en la que observamos un posible patrón de comportamiento. Seguidamente, cambiamos el tamaño de la muestra y cogemos $c=50$, donde la primera muestra va de la observación 1 a la 50, y la segunda iría de la 126 a la 175. Para la primera muestra, estimando el modelo por MCO, nos revela que la suma del cuadrado de los residuos es 1,7763. Estimando el modelo con la segunda muestra, la suma al cuadrado de los residuos es 1,9042. Operando sería:

$$\begin{aligned} \text{GQ} &= \text{SR}_2/\text{SR}_1 = 1,0720 < ((175-50/2)-13), ((175-50)/2)-13) \\ &= (49, 49) F_{49, 49} (0,05) \approx 1,568 \end{aligned}$$

Por lo que se acepta la hipótesis nula, es decir, el modelo es homocedástico.

Ante los resultados contradictorios referente a la heterocedasticidad o no de nuestro modelo, decidimos tomar el mismo como homocedástico ya que el contraste de White es más útil y fiable para muestra grandes, que no es nuestro caso y, gráficamente, tampoco se detecta un patrón de comportamiento entre los residuos al cuadrado y cada una de las variables explicativas susceptibles de provocar la heterocedasticidad, ni existen en los puntos atípicos apalancamiento u observaciones influyentes como se calculó en apartados anteriores.

En cuanto a la autocorrelación, su ausencia nos indica que el término error asociado a alguna observación no está influenciado por el término de error asociado a cualquier otra observación, es más, no procede su estudio, pues son datos de corte transversal, en los que no tiene sentido el que exista autocorrelación. Asimismo, hemos demostrado que la forma funcional elegida es correcta, con una bondad del ajuste global relativamente alta.

En este punto, lo que debemos hacer es volver a eliminar aquellas variables que aun siendo significativas individualmente, no sean coherentes con la Teoría Económica, volviendo a estimar en cada caso, el modelo sin la variable eliminada anteriormente. Pero en nuestro caso, todas las variables que permanecen en nuestro modelo son coherentes con la teoría económica salvo las variables ambientales $Cacu2, \dots, 4$, que pueden ser incoherentes con los resultados de algunos autores mencionados anteriormente. Después de realizar la eliminación de las variables ambientales, el modelo empeora considerablemente, la variable $Zgeo2$ deja de ser significativa y la bondad del ajuste empeora, por lo que decidimos dejar finalmente el modelo con las trece variables más la constante y la endógena en logaritmo.

Una vez estimados todos los parámetros y realizados los contrastes y validación del modelo linealizado seleccionado, que se corresponde con un mayor ajuste, un comportamiento de normalidad de los residuos y la ausencia de heterocedasticidad, por lo que, con este último paso, el modelo queda con todas las variables significativas, teniendo la siguiente forma:

$$\log Pvc_i = \beta_0 + \beta_{01} \cdot Scon - \beta_{0501} \cdot Econ1 - \beta_{0502} \cdot Econ2 - \beta_{0503} \cdot Econ3 + \beta_{09} \cdot Garj + \beta_{10} \cdot Nhab - \beta_{1502} \cdot Zgeo2 + \beta_{1702} \cdot Cocu2 + \beta_{1703} \cdot Cocu3 + \beta_{1704} \cdot Cocu4 + \beta_{19} \cdot \log Ssue - \beta_{26} \cdot sqAntg + \beta_{29} \cdot \log Dist + U_i$$

El problema de multicolinealidad suele surgir en los estudios hedónicos y se usa a menudo para explicar problemas encontrados. Los datos de los que disponemos para estimar nuestro modelo pueden no ser enteramente adecuados a la teoría subyacente en el mismo, debido a diversos problemas, entre los que cabe destacar la multicolinealidad, la falta de datos, los errores de medida o los datos agrupados. Este problema aparece cuando entre las variables explicativas, existe algún grado de correlación, e implica una dificultad a la hora de aislar el efecto que sobre el precio de la vivienda tiene un cierto atributo de nuestra ecuación econométrica. Usualmente se presenta en modelos en donde hay una o más variables con retardo, que no es nuestro caso. Esta situación supone que desvirtúa la esencia del modelo, no llegándose a conocer la verdadera relación entre las variables consideradas. La manifestación usual de la multicolinealidad es la presencia de valores altos en las varianzas de los parámetros estimados.

Las posibilidades de solución ante un problema de multicolinealidad pueden ser varias, desde utilizar componentes principales de las variables correlacionadas haciendo una transformación de los datos que aglutine la información contenida en un conjunto de variables con algún grado de correlación o, simplemente excluyendo la variable correlacionada si no perdemos información de la endógena en exceso, o residualizar las variables que consiste en la construcción de nuevas variables a partir de regresiones entre las variables correlacionadas.

Podría ser previsible en nuestro modelo que viviendas con muchos metros cuadrados construidos se correspondan con muchas habitaciones/dormitorios, o a mayor cercanía al aeropuerto, mayores niveles de ruido, o ante estados perores de conservación, menor valor de la vivienda. Un síntoma que nos haría sospechar de la no presencia de multicolinealidad en nuestro modelo es un coeficiente de determinación del 83,26%, un modelo globalmente muy significativo, y al mismo tiempo, las distintas variables son significativas individualmente. El único problema que podría encontrarse sería con el signo de las variables Econ3 y Zgeo2, indiferentes con los resultados de los trabajos previos estudiados. Pero es posible que ese problema no lo tengamos.

Tras analizar la matriz de correlaciones entre las diferentes variables exógenas del modelo (Tabla 39), los resultados obtenidos en dicha matriz, nos muestra que no hay síntomas de multicolinealidad, ya que no hay ningún elemento con valor superior a 0,8. Los coeficientes de correlación son reducidos, siendo el más elevado numéricamente

(0,7781), el número de habitaciones/dormitorios (Nhab), que es de signo positivo, como sería esperable.

Tabla 39. Coeficientes de correlación. Valor crítico al 5% (a dos colas) = 0,1484 para n = 175

Scon	Econ1	Econ2	Econ3	Garj	Nhab	Zgeo2	
1,0000	-0,0968	-0,1312	-0,0575	0,2165	0,7781	-0,1593	Scon
	1,0000	-0,0764	-0,1569	-0,1966	-0,0326	-0,0188	Econ1
		1,0000	-0,1787	-0,1350	-0,0995	-0,0021	Econ2
			1,0000	-0,2072	-0,0869	0,0651	Econ3
				1,0000	0,2304	-0,1915	Garj
					1,0000	0,1018	Nhab
						1,0000	Zgeo2

Cacu2	Cacu3	Cacu4	LSsue	SqAntg	SqDist	
0,0994	-0,0716	-0,0450	0,3705	-0,0907	-0,0751	Scon
-0,0706	0,0674	-0,0736	0,0795	0,4730	-0,0400	Econ1
0,0105	0,0068	0,0063	-0,1005	0,0304	-0,0325	Econ2
-0,0451	-0,0420	-0,0231	0,0092	0,0758	0,0376	Econ3
0,0063	0,0070	-0,0158	0,1975	-0,1987	0,0243	Garj
0,1329	-0,1329	-0,0757	0,4025	0,0033	-0,0188	Nhab
0,1609	0,0728	-0,0904	-0,1081	-0,0517	0,4326	Zgeo2
1,0000	-0,4230	-0,2545	0,0441	-0,1245	0,3736	Cacu2
	1,0000	-0,4305	-0,1671	-0,1087	-0,1674	Cacu3
		1,0000	0,0481	0,0520	-0,2211	Cacu4
			1,0000	0,2726	0,0202	LSsue
				1,0000	-0,0248	SqAntg
					1,0000	SqDist

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

Para reforzar esta idea y confirmar la no multicolinealidad, analizamos las regresiones auxiliares, utilizando cada una de las variables exógenas como endógena en función del resto de variables explicativas, con objeto de analizar su coeficiente de determinación, tal que,

$$FIV_{(j)} = 1/(1 - R_j^2)$$

donde R_j es el coeficiente de correlación múltiple entre la variable j y las demás variables independientes.

Si la variable explicativa X_j está altamente correlacionada con las otras variables X , entonces R_j^2 será grande, haciendo que el valor FIV sea grande. Si este es superior a 0,8 podremos decir que existe multicolinealidad entre las variables utilizadas. A la vez, analizaremos el factor de inflación de la varianza (FIV), si su valor es superior a 5, se confirmará la existencia o no de multicolinealidad.

Tabla 40. Factores de inflación de varianza (FIV)

VIF	
REGRESOR	VALOR
Scon	2,750
Econ1	1,486
Econ2	1,127
Econ3	1,222
Garj	1,318
Nhab	2,772
Zgeo2	1,395
Cacu2	1,934
Cacu3	2,286
Cacu4	1,911
I_Ssue	1,415
sq_Antg	1,595
sq_Dist	1,524

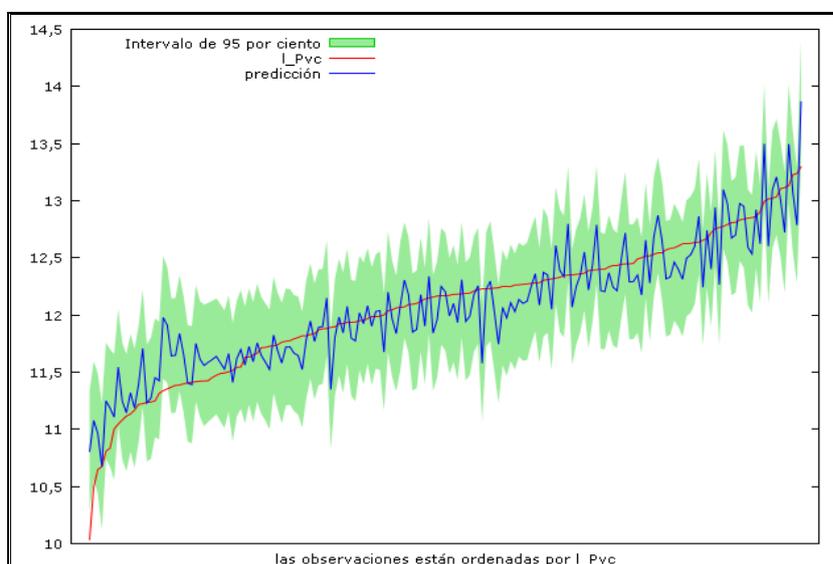
Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

A la vista de los datos alcanzados, detectamos que no existe multicolinealidad en el modelo, por lo que no hay presencia de relación lineal entre las variables explicativas lo que da lugar a que los coeficientes estimados de las mismas sean lineales, insesgados y significativos. Como consecuencia de tener varianzas muy bajas en la matriz de correlaciones, el modelo sirve tanto para predecir, como para realizar análisis estructural.

4.5.6. ANÁLISIS DE PREDICCIÓN

Una de las utilidades básicas del modelo consiste en contrastar hipótesis económicas, construir intervalos de confianza y elaborar pronósticos sobre los valores futuros de la variable endógena. Con esta inferencia haremos predicciones para la segunda submuestra. En definitiva, se trata de evaluar la diferencia entre pronóstico y observaciones reales. Hasta ahora hemos estimado el modelo con 175 observaciones. Para realizar la predicción, estimaremos el modelo con 165 observaciones, obviando las 11 últimas (aproximadamente el 6,29% del total de las observaciones). Al predecir éstas últimas 11 observaciones, y comprobando la capacidad predictiva del modelo, usamos la medida de bondad de predicción U-Theil (Greene, 2003), que nos indica que un modelo con un valor próximo a cero es bueno para predecir. En nuestro caso es 0,4303, siendo bueno para predecir. Además, el error porcentual absoluto medio es de 1,247, muy inferior a 10, situándonos muy por debajo del valor aceptable. Como vemos numéricamente, la predicción por intervalos es buena, ya que los valores reales se encuentran dentro de los intervalos (Gráfico 22).

Gráfico 22. Gráfico de predicción entre la endógena observada y la predicha para toda la muestra (175 observaciones)



Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

El Gráfico 22 junto a los resultados de la Tabla 41, muestra la serie de precios en logaritmos observada en color rojo y estimado con el modelo de color azul, junto con su intervalo de confianza en color verde.

Tabla 41. Predicciones 11 últimas observaciones en logaritmos. Intervalo de confianza al 95% con $t(161,0.025) = 1,975$

Observación	Valor original en logaritmos	Predicción	Intervalo de confianza 95% $t(161,0.025)=1,975$	Desviación Típica
165	12,8089	12,6738	(12,1746 - 13,1731)	0,2528
166	12,3519	12,0695	(11,5677 - 12,5714)	0,2541
167	12,0627	11,8381	(11,3325 - 12,3438)	0,2560
168	12,2112	12,1812	(11,6785 - 12,6841)	0,2546
169	11,8373	11,7694	(11,2645 - 12,2744)	0,2556
170	11,4731	11,6390	(11,1319 - 12,1460)	0,2567
171	12,1726	11,9926	(11,4877 - 12,4976)	0,2556
172	12,2452	12,0676	(11,5635 - 12,5717)	0,2552
173	12,2699	12,1018	(11,5996 - 12,6041)	0,2543
174	11,9251	11,8440	(11,3163 - 12,3719)	0,2672
175	12,4519	12,2937	(11,7912 - 12,7963)	0,2544

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra a través del programa informático Grelt.

Debemos recordar que la endógena está expresada en logaritmos y para darle una interpretación fácilmente inteligible debemos expresar los resultados en unidades (euros) tal que,

Tabla 42. Predicciones 11 últimas observaciones en unidades (euros). Intervalo de confianza al 95% con $t(161, 0.025) = 1,975$

Observación	Valor original (€)	Predicción (€)	DIFERENCIA	
			ABSOLUTA (€)	%
165	365.477,03	319.272,42	-46.204,61	-12,64
166	231.400,00	174.468,58	-56.931,42	-24,60
167	173.299,00	138.427,22	-34.871,78	-20,12
168	201.029,15	195.086,82	-5.942,33	-2,96
169	138.320,64	129.236,58	-9.084,06	-6,57
170	96.101,74	119.730,66	23.628,92	24,59
171	193.432,77	161.554,85	-31.877,92	-16,48
172	208.000,00	174.137,41	-33.862,59	-16,28
173	213.200,00	180.195,92	-33.004,08	-15,48
174	151.017,02	139.246,35	-11.770,67	-7,79
175	255.760,00	218.316,25	-37.443,75	-14,64

Fuente: Elaboración propia con los datos de la muestra.

Estos resultados nos informan de que con una probabilidad del 95%, el precio de una vivienda en la zona de estudio puede oscilar como máximo alrededor de un 24,59% por encima o un 24,69% por debajo del valor original considerando las 11 observaciones tomadas para la predicción. De manera ilustrativa escogeremos la

observación número 170. Su precio real fue de 96.101,74 euros. Con los datos alcanzados y utilizando nuestro modelo, esta vivienda ha dado como valor predicho 119.730,66 euros, un 24,59% superior al valor real. De manera general, podemos afirmar que es un intervalo relativamente razonable, ya que la media en porcentaje de la diferenciación entre el valor real y el predicho para las 11 observaciones es un 14,74%, con una probabilidad del 95%, porcentaje asumible que nos permite afirmar que nuestro modelo tiene un nivel de predicción aceptable.

CAPÍTULO 5. IMPLICACIONES DE POLÍTICA AMBIENTAL PARA EL CONTROL DEL RUIDO

Con base a las pruebas estadísticas mostradas anteriormente, se puede concluir que el modelo hedónico planteado explica razonablemente el comportamiento de la variable endógena y, por lo tanto, es susceptible de ser utilizado para hacer predicciones sobre el desempeño de esa variable. Nuestro modelo definitivo con catorce regresores (incluida la constante) queda estimado de la siguiente manera:

$$\log Pvc_i = \beta_0 + \beta_{01} \cdot Scon - \beta_{0501} \cdot Econ1 - \beta_{0502} \cdot Econ2 - \beta_{0503} \cdot Econ3 + \beta_{09} \cdot Garj + \beta_{10} \cdot Nhab - \beta_{1502} \cdot Zgeo2 + \beta_{1702} \cdot Cocu2 + \beta_{1703} \cdot Cocu3 + \beta_{1704} \cdot Cocu4 + \beta_{19} \cdot \log Ssue - \beta_{26} \cdot sqAntg + \beta_{29} \cdot \log Dist + U_i$$

Con los siguientes valores de sus coeficientes β_i estimados:

$$\log Pvc_i = 10,3603 + 0,0033 \cdot Scon - 0,3464 \cdot Econ1 - 0,2307 \cdot Econ2 - 0,1045 \cdot Econ3 + 0,1356 \cdot Garj + 0,0576 \cdot Nhab - 0,1152 \cdot Zgeo2 + 0,1494 \cdot Cocu2 + 0,3123 \cdot Cocu3 + 0,2758 \cdot Cocu4 + 0,1089 \cdot \log Ssue - 2,6746e-05 \cdot sqAntg + 1,3020e-08 \cdot \log Dist + U_i$$

Al estimar el modelo, los valores de los parámetros representan un indicador de mucha importancia a la hora de explicar el fenómeno en estudio, pues con base a ellos se determina la forma y el grado de influencia de cada variable explicativa. Para aproximar lo mejor posible la interpretación de las variables ficticias dummy, resulta conveniente en formas funcionales semilogarítmicas, aplicar la siguiente expresión (Halvorsen y Palmquist, 1980):

$$100 \times \left[e^{\hat{\beta}} - 1 \right]$$

Según los resultados de las estimaciones y considerando el resto de los coeficientes de las variables objeto de estudio *ceteris paribus*, se tienen las siguientes características:

- β_0 : Nos muestra el valor esperado de las viviendas en la zona de estudio estimado en euros, cuando el resto de las variables o regresores son cero. El valor esperado, según nuestro modelo, es 31.580,65 euros. El coeficiente del punto de corte β_0 , mide el valor medio de la variable dependiente de la categoría base o de referencia. En otras palabras, nos indica el valor medio esperado de aquellas viviendas que no tienen superficie construida; ni un estado de conservación muy malo, malo o regular; ni garaje; ni habitaciones/dormitorios; ni se encuentran situados en el Municipio de Agüimes; ni se ven afectadas por el ruido aeronáutico militar de entre 55 y 70 dB; ni tiene superficie; ni años de antigüedad; ni distancia al foco del ruido. Esto nos revela muy poco, por lo que, existen otras variables exógenas relevantes que expliquen la variable endógena que deben ser observadas en su conjunto con la constante. No es lógico que todas las variables explicativas puedan dar cero en nuestro estudio, no tendría sentido. En definitiva, la inclusión de la constante, en muchas ocasiones, sólo es un artificio matemático para lograr un mejor ajuste, sin que sea posible darle una interpretación económica.
- β_{01} : Si aumentamos en un metro cuadrado la superficie construida de la vivienda y, sin tener en consideración el resto de variables, el precio de la vivienda aumenta en promedio en 0,33%. En otras palabras, el incremento medio del precio de la vivienda por metro cuadrado adicional de construcción es $0,0033*Y_i$, no es constante, dependerá del nivel de precios de la vivienda en cuestión.
- β_{0501} : Si estamos ante una vivienda con un estado de conservación muy malo, la diferencia porcentual del precio de la vivienda en comparación con otra vivienda con un estado de conservación distinto, es de un 41,39% menor, manteniendo el resto de variables *ceteris paribus*.

- β_{0502} : Si estamos ante una vivienda con un estado de conservación malo, la diferencia porcentual del precio de la vivienda en comparación con otra vivienda con un estado de conservación distinto, es de un 25,95% menor, manteniendo el resto de variables *ceteris paribus*.
- β_{503} : Si estamos ante una vivienda con un estado de conservación malo, la diferencia porcentual del precio de la vivienda en comparación con otra vivienda con un estado de conservación distinto, es de un 11,01% menor, manteniendo el resto de variables *ceteris paribus*.

El resultado de estas tres últimas variables (β_{0501} , β_{0502} y β_{503}) es comprensible y lógico, ya que a peor estado de conservación, mayor es la disminución del precio de la vivienda.

- β_{09} : Si la vivienda dispone de garaje, su precio es un 14,52% superior a otra vivienda que no lo tuviese. Este resultado también es coherente con lo que nos puede llegar a mostrar la lógica.
- β_{10} : Si la vivienda dispone de una habitación/dormitorio, su precio es un 5,93% mayor a otra vivienda sin habitaciones/dormitorios. Para una vivienda con dos habitaciones/dormitorios, el precio de la vivienda se verá incrementado en un 12,21%. Tiene un aumento en el precio de carácter claramente exponencial, lo que es coherente con lo que nos puede mostrar la lógica.
- β_{1502} : Las viviendas ubicadas en el municipio de Agüimes, sin tener en cuenta el resto de variables, tiene un precio un 11,52% inferior a las viviendas situadas en Telde y Agüimes.
- β_{1702} : Para aquellas viviendas que se ven afectadas por una contaminación acústica de entre 55 a 60 dB, su valor es un 16,11% superior al resto de viviendas que sufren otros niveles de contaminación acústica.

- β_{1703} : Para aquellas viviendas que se ven afectadas por una contaminación acústica de entre 60 a 65 dB, su valor es un 36,65% superior al resto de viviendas que sufren otros niveles de contaminación acústica.
- β_{1704} : para aquellas viviendas que se ven afectadas por una contaminación acústica de entre 65 a 70 dB, su valor es un 31,76% superior al resto de viviendas que sufren otros niveles de contaminación acústica.

La explicación más plausible para estos datos en los que si sufren altos índices de dB, el valor de la vivienda aumenta, es debido a que son los inmuebles más lujosos, los más cercanos al aeropuerto, además de tener grandes zonas verdes y buenos accesos de comunicación, así como la disposición asidua de transporte público.

- β_{19} : un aumento de un 1% en la superficie del terreno donde se ubica la vivienda, teniendo en cuenta que el resto de variables son *ceteris paribus*, hace que el precio de la vivienda aumente en un 0,11%. Esta variable mostraría la elasticidad precio de la vivienda / superficie.
- β_{26} : a mayor antigüedad, menor valor de la vivienda de tal manera que, una vivienda con 10 años de antigüedad tiene un valor menor un 0,28% que otra vivienda de reciente construcción. Esto nos sugiere que para nuestra zona de estudio, la antigüedad de la vivienda no es un factor determinante en su precio, en comparación con otros atributos, ya que la disminución de valor con el paso del tiempo es insignificante.
- β_{29} : el parámetro de la variable Dist nos señalaría la elasticidad precio de la vivienda / distancia al foco del ruido, es decir, por cada incremento del precio de la vivienda en un 1%, la distancia al foco del ruido se incrementaría en $1,3020e-0.8$. Un valor muy reducido pero que nos advierte que a mayor distancia del foco del ruido, mayor precio de la vivienda. El resultado de este último parámetro parece contradictorio con el resultado obtenido con los parámetros $\beta_{2,3}$ y β_4 pero no es así debido a lo insignificante del resultado. Es una variable significativa, pero su repercusión en el precio de la vivienda es positivo y mínimo.

Cuando se estiman modelos de precios hedónicos, los coeficientes ofrecen el precio marginal de la característica que acompañan. En este sentido, los coeficientes debieran ser positivos ya que la variable dependiente es positiva. Sin embargo, cuando se utilizan conjuntos de variables ficticias o variables cuadráticas, puede suceder que para un subconjunto de las mismas, los coeficientes de las variables cuadráticas o de las correspondientes lineales, sean negativos. Esto es lo que se puede observar en los resultados de este estudio.

El coeficiente de la superficie es positivo, como se espera, pero el coeficiente de su correspondiente cuadrática es negativo, evidenciando la existencia de un umbral. Es decir, a mayor superficie mayor valor del inmueble, pero con un máximo. Lo mismo sucede con la antigüedad, con la que crece el precio hasta un máximo de años, que, una vez alcanzados, desciende.

El caso del precio-sombra de la habitación parece paradigmático, pero no lo es por cuanto también existe, en este caso, un mínimo a partir del cual se incrementa el precio marginal de la habitación. Y no lo es porque las viviendas más baratas son las que tienen un número medio de habitaciones y las más caras son las que disponen de 1-2 o más de 6. Los modelos que permiten especificaciones flexibles posibilitan, a su vez, resultados flexibles como estos.

Existen conjuntos de coeficientes de variables ficticias con signos negativos, aunque con justificaciones para ello. A mejor conservación de la vivienda corresponde un mayor precio, ya que el conjunto de coeficientes se ha de comparar con el de la variable excluida que corresponde a las viviendas en muy buen estado. En particular, las viviendas en muy mal estado, mal estado, estado regular o buen estado son, un 49%, 33%, 28,6% y 14% más baratas que las viviendas en muy buen estado. Por otra parte, las viviendas en el municipio de Telde reflejan mayores precios, *ceteris paribus*, que, en el municipio de Ingenio (18,6% más económicas en este último), pero no hay diferencia en los precios de Telde y Agüimes.

La localización cerca de facilidades sanitarias, deportivas o medioambientales contribuye marginalmente al incremento del precio. La superficie exterior, el número de baños, la existencia de garaje, el tipo de edificio, la disponibilidad de medidas de protección frente al ruido, de techo practicable o de jardín, porche o terraza, no tienen efectos sobre el precio de la vivienda.

Las variables de ruido medioambiental merecen mención especial. Sólo las viviendas afectadas por menores niveles de ruido son más baratas, *ceteris paribus*. Es decir, una vez controlados el resto de los atributos de la vivienda, ni la cercanía al foco de ruido ni el propio ruido afectan al precio de esta. Con estos resultados, tenemos

que las viviendas con el nivel de ruido más alto son un 24,7% más caras que las viviendas con el nivel de ruido más reducido. La máxima diferencia en precio se produce entre las viviendas que soportan un nivel de ruido entre 65 y 70 dB y las que soportan menos de 55 dB (34,7%). Las viviendas que se ven afectadas por un nivel de ruido entre 55 y 60 dB tienen un precio que es un 22,2% mayor que las que menor nivel de ruido soportan. En consecuencia, la contaminación por ruido aeroportuario generado por la BA de Gando no constituye un atributo negativo para las viviendas de la zona. Por tanto, el efecto de la contaminación acústica queda relegado a un segundo término debido, posiblemente, a los mayores beneficios de vivir cerca del aeropuerto o de acceso a mejores comunicaciones (resultado que obtienen Tomkins et al., 1998, con datos para Manchester y Lipscomb, 2003, con datos para Atlanta).

Otra forma de aplicar el modelo es obtener cuánto puede variar la variable endógena si, por ejemplo, nos encontrásemos ante una vivienda de 100 m² construidos, 150 m² de superficie, con 10 años de antigüedad, con garaje, 2 habitaciones/dormitorios, situada en el Municipio de Ingenio, con un estado de conservación regular, a 1.250 metros del aeropuerto y que sufre de 65 a 70 dB, dejando el resto de variables exógenas *ceteris paribus*.

$$\log Pvc_i = 10,3603 + 0,0033 \cdot (100) - 0,1045 \cdot (1) + 0,1356 \cdot (1) + 0,0576 \cdot (2) + 0,2758 \cdot (1) + 0,1089 \cdot \log(100) - 2,6746e-0,5 \cdot (10) + 1,3020e-0,8 \cdot (1250) + U_i$$

$$\log Pvc_i = 10,3603 + 0,3309 - 0,1045 + 0,1356 + 0,1152 + 0,2758 + 0,5016 - 0,0003 + 1,6275e-5 + U_i$$

$$\log Pvc_i = 11,6145$$

$$Pvc_i = 110.697,05 \text{ euros.}$$

Si se hubiera obtenido en el ejercicio empírico el efecto estructural que se ha buscado, la principal conclusión es que los precios no parecen haber sido afectados ni por el ruido aeroportuario ni por la distancia al foco del ruido. Esto contribuiría a explicar que no se hayan tomado medidas de política de vivienda o medioambiental ni por los municipios afectados ni por el Cabildo Insular de Gran Canaria o el Gobierno de Canarias. No obstante, podríamos inferir de estos resultados que, en términos de política de vivienda en lo que tiene relación con los precios, no sería inconveniente si las autoridades responsables decidieran ampliar la BA o ampliar el número de operaciones que se realizan a y desde ella. Pero si la contaminación acústica puede llegar a ser un problema en el futuro, será una cuestión de estudio que se debe actualizar con datos más recientes de precios y características de vivienda.

A continuación, expondremos las conclusiones más significativas que hemos alcanzado tras la elaboración de esta tesis.

CONCLUSIONES

En esta tesis se analizaron los factores determinantes del precio de las viviendas en una zona concreta de la Isla de Gran Canaria, que abarcaba los municipios de Ingenio, Agüimes y Telde, y que se veían afectadas por distintos niveles de contaminación acústica debido a la actividad de las aeronaves militares, F-18 y Focker-27 principalmente, desplegadas en la BA de Gando para el año 2012. Para ello, empleamos en una primera parte, un análisis teórico de la situación en la que se observaba que, no teniendo en cuenta ningún otro factor o atributo que pudiese ir acompañando al precio de la vivienda, se concluyó que la contaminación acústica aeromilitar afectaba negativamente en el precio de la vivienda de la zona, en función de, a mayor dB de afectación, mayor disminución del precio de la vivienda. En una segunda parte del estudio, decidimos emplear la regresión hedónica, ya que la vivienda residencial es un tipo de bien cuyo precio se construye a partir de una serie de atributos, y no sólo por la contaminación acústica que recibe. Además, se obtuvieron una serie de estimaciones de varios atributos o características por MCO para una función de PH con forma semilogarítmica.

El resultado fue contradictorio con la primera parte de la tesis, pero consecuente con los resultados de otros estudios que arrojaban la misma conclusión, a mayor nivel de dB percibidos, mayor valor tiene la vivienda en los municipios de estudio. Este resultado lo debemos asumir como que, al incluir otros regresores al estudio del precio de la vivienda, la lógica y los resultados empíricos de esta tesis, nos lleva a pensar que el estudio aislado de la variable contaminación acústica, como único factor relevante para nuestra endógena, no es concluyente, y que sí, tenemos que añadir otras variables explicativas que influyen significativamente en el precio de la vivienda en la zona y, aún más, repercuten en una variación del efecto del atributo contaminación acústica, como quedó demostrado en esta tesis.

A la vista de las valoraciones expuestas en los apartados anteriores, realizados los cálculos pertinentes y concluida la investigación experimental, en los que se analizan los resultados a distintos niveles sonoros de exposición por ruido aeroportuario militar sobre la población y su afectación en el mercado inmobiliario de las viviendas situadas en las inmediaciones de la BA de Gando, así como tomando en consideración las inversiones realizadas por la BA dentro de la misma, y por AENA en las viviendas localizadas en los alrededores del aeropuerto para el escenario temporal del año 2012, se extraen una serie de conclusiones generales:

1. El MINISDEF asume desde hace varias décadas, la novedosa dimensión medioambiental en el ámbito de la defensa con el desarrollo de su política; la implementación y certificación de SGM; el perfeccionamiento de tecnologías alternativas en sus instalaciones; y la compatibilidad de su operatividad con la función de conservación de sus entornos naturales. La necesidad de combinar la misión de la defensa nacional de las FFAA con la conservación de los valores naturales y de la calidad de vida, y más concretamente, en el entorno de las BA del EA, precisa un modelo de actuación basado en la coordinación de factores económicos, sociales, legislativos y ambientales, que nos permita aproximarnos a un modelo sostenible de desarrollo. En particular, la contaminación acústica es uno de los principales aspectos ambientales generados a causa de la actividad militar, y en especial, de las aeronaves militares. De ahí que, la reducción al mínimo de los niveles acústicos y la protección de la calidad de vida de las poblaciones del entorno de los recintos militares y, de los propios militares y civiles que trabajan en las BA, se haya convertido en una de las prioridades del MINISDEF.

La Política Medioambiental expuesta en esta tesis recoge de manera resumida las medidas fundamentales puestas en práctica por el MINISDEF relacionadas con el ambiente y su protección. Entre ellas, está la política sobre el ruido generado por las aeronaves militares en el entorno de las BA del EA y orientada a alcanzar los objetivos plasmados en la legislación vigente en materia de conservación, protección y recuperación de las condiciones ambientales. Entendemos que se deben coordinar, conjuntamente, factores económicos, sociales, legislativos y ambientales, que nos permita aproximarnos a un modelo sostenible de desarrollo en las FFAA para la consistencia real de dicha política ambiental, para lo cual, podemos tener en consideración los datos obtenidos y el estudio llevado a cabo en esta tesis

2. La modificación introducida en la calidad ambiental y reflejada en el PH en el mercado inmobiliario puede, como reacción, desencadenar un cambio en la oferta y una variación significativa en los precios de los inmuebles, con lo que el nuevo precio de equilibrio ya no estaría tan claro en el cómputo total del beneficio, ni quienes serían los beneficiarios; se hace necesario entonces, introducir algún supuesto sobre el comportamiento de la oferta que permita cerrar el modelo y completar el proceso de valoración. En este sentido, hemos elaborado un estudio que nos brinda la posibilidad de detectar aquellas variables exógenas que influyen de manera significativa en el precio de la vivienda en el área de estudio,

distribuidos por municipios y durante un período temporal determinado, el año 2012, destacando el papel trascendental que juega la contaminación acústica aeronáutica militar.

Resulta significativo el cambio que produce en el precio de las viviendas si sólo tenemos en cuenta la contaminación acústica como atributo fundamental para conformar el precio de la vivienda. A medida que introducimos más variables o atributos, la contaminación acústica pasa de ser perjudicial, según los datos logrados en nuestro estudio, a ser un factor positivo en el precio de la vivienda de la muestra en la zona de estudio. La explicación más plausible para estos datos es que si sufren altos índices de dB, el valor de la vivienda aumenta, es debido a que son los inmuebles más lujosos, los más cercanos al aeropuerto, además de tener grandes zonas verdes y buenos accesos de comunicación, así como la disposición asidua de transporte público.

3. No se pretende encontrar una respuesta dogmática o absoluta sobre el tema del asunto. Todas las hipótesis planteadas y la teoría de sustento están sujetas a revisión, estudio y modificación, y los resultados obtenidos están respaldados por observaciones y, modelación matemática y estadística. Lo primordial del presente trabajo académico es compensar el sesgo originado por falsas creencias, y hacer uso del método científico para descartar aquellos elementos que no son reales y verificables. Además, esta investigación demuestra la factibilidad de desarrollar estudios de PH, para analizar problemas ambientales como la contaminación por ruido aeronáutico militar. Para ello, la econometría nos ofrece una serie de herramientas como el \bar{R} , R^2 , F, etc, que comprueban la validez de nuestro modelo hedónico utilizando la Regresión Múltiple y los MCO para la estimación de los parámetros de estudio. En definitiva, los estamentos oficiales podrían hacer uso de las herramientas econométricas para llevar a cabo políticas residenciales, es decir, el desarrollo de las ciudades en las inmediaciones de los aeropuertos militares y sus repercusiones en la población.
4. Hay docenas de estudios publicados sobre los efectos en la salud por el ruido aeroportuario y de su impacto en los valores del mercado inmobiliario, todos los cuales, prácticamente, llegan a la conclusión de que las viviendas cercanas a los corredores aéreos de los aeropuertos experimentan cierta disminución de valor. En ese sentido, se puede establecer que los impactos más relevantes del ruido son la

incidencia negativa sobre el precio de las viviendas cercanas a un corredor de vuelo o pista aérea, y las molestias percibidas por los individuos que repercuten negativamente en su salud mental y física. Pero, los diferentes estudios no permiten observar una clara y contundente relación inversa entre el incremento de los niveles de ruido y el precio de las viviendas, como quedó demostrado en la segunda parte de nuestra tesis, lo cual revela, que el ruido puede tener una afectación negativa o positiva sobre el precio, dependiendo de diversos factores como la población de estudio, los tipos de aeronaves, otros atributos que componen el precio de la vivienda, la singularidad de los datos con los que trabajemos, etc.

Se evidencia la preferencia de los investigadores por la utilización del método de PH frente al método de VC, tanto para los países europeos como para América del Norte, en la confección de estimaciones suficientemente aceptables del valor del ruido aeroportuario y como condicionante en la toma de decisiones sobre política ambiental y de planificación del territorio, con la finalidad de mitigar su impacto negativo en la salud de la población, en el mercado inmobiliario y en el bienestar social en general. Añadiremos que la creación de *Mapas Estratégicos de Ruido* de las zonas urbanas con mayores niveles de ruido, se ha convertido en herramienta imprescindible para el análisis y localización de esta externalidad negativa, ayudando a diluir las incertidumbres creadas en torno al estudio de este bien sin mercado. Finalmente, ninguna investigación publicada, de relevancia contrastada, o por lo menos que hayamos podido encontrar, ha estudiado los valores del ruido y su efecto sobre el valor de la propiedad inmobiliaria debido a la actividad militar de aeronaves supersónicas, de ahí, lo novedoso de este estudio.

5. Debemos tener en cuenta que el hecho de que una propiedad se encuentre cerca de una fuente de ruido no es una prueba automática de una pérdida de valor en el mercado. Por tanto, el analista debe encontrar y emplear métodos válidos para medir con precisión la pérdida del inmueble en el valor de mercado. Desafortunadamente, como se ilustra en diversos estudios mencionados anteriormente, donde se recogen cuantiosos métodos de medición de ruidos ambientales, no existe una sola norma. Sin embargo, existen puntos en común en lo referente al ruido en los aeropuertos y su afectación sobre los bienes raíces. En este sentido, hay un segmento del mercado que se supone casi imperturbable a los efectos del ruido, mientras que en el extremo opuesto, nos encontramos con

una parte significativa de la población que manifiesta un rechazo considerable a adquirir una propiedad cercana a cualquier aeropuerto o autopista con altos niveles de congestión, incluso ante considerables descuentos en la compra.

6. El uso de la modelización matemática para determinar los niveles de ruido en las inmediaciones de los aeropuertos, incluyendo las BA militares, se está convirtiendo en una práctica habitual y de obligado cumplimiento en los términos que establece la Directiva Europea. Esta técnica es muy valiosa para estudiar distintos cambios que se pueden producir en el tráfico aéreo como puede ser, la incorporación de nuevos procedimientos de salida con nuevas trayectorias, cambios del volumen de tráfico debido a la estacionalidad de la demanda de vuelos, construcción de nuevas pistas, etc. Básicamente, es una herramienta que ayuda a tomar decisiones en el estudio de alternativas en situaciones de variación en el número de operaciones o trayectorias aéreas. Además, los estudios de impacto acústico de aeropuertos realizados con medidas experimentales, sólo son representativos del día en que se realizan las medidas, no mostrando las variaciones del tráfico aéreo. En estos casos, las simulaciones pueden realizar mejores aportaciones al poder variar distintos parámetros sin incurrir en sobrecostes o mediciones en el terreno.

7. Existe un nivel muy aceptable en las inversiones en prevención y mitigación de los daños ocasionados por la contaminación acústica en la propia BA, suponiendo un 0,79% y un 1,14% del presupuesto total para la BA de Gando para los años 2010 (3.189.378,71 euros) y 2011 (3.005.021,13 euros) respectivamente, observándose que, a pesar de haber una disminución del presupuesto general, el gasto en importes absolutos en este concepto, aumentó. Destacar los 26.703,59 euros de inversión en el aislamiento acústico de la Guardería de Gando en el período 2010-2011, la cual estuvo totalmente operativa en el mes de Julio del 2009, y que cumple con toda la normativa acústica en vigor, así como de una serie de procedimientos coordinados con la Sección de Operaciones del Ala 46 para evitar exposiciones sonoras al aire libre de los usuarios de la guardería, en momentos de maniobras aéreas de aeronaves militares. En estudios futuros sería interesante hacer un estudio en profundidad sobre la afectación de este equipamiento especial dentro de la BA.

Las inversiones realizadas tanto por la BA como por AENA son significativas y suficientes para paliar los posibles efectos tanto en la población colindante a la BA, como para el propio personal de la misma. En este sentido, un alto porcentaje de las viviendas expuestas en los indicadores analizados se encuentran incluidas en el PAA, actualmente en ejecución, derivado de la Declaración de Impacto Ambiental de las obras contempladas en el proyecto de *Actuaciones en el aeropuerto de Gran Canaria*. En el caso del indicador L_{den} , el plan abarca la totalidad de las viviendas expuestas a niveles superiores a 65 dB(A). En el caso de L_{night} , y aunque no se vean afectadas por las actividades militares, la mitad de las viviendas expuestas a niveles comprendidos entre 55-60 dB(A) y la totalidad de las viviendas situadas en el intervalo de 60-65 dB(A) se encuentran incluidas en el ámbito de vigencia del plan. De este modo se podría asegurar que éstas verificarán la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88 "*Condiciones Acústicas en los Edificios*", que asegura unas buenas condiciones de aislamiento acústico. Además, entre las soluciones de mejora de aislamiento acústico que la BA lleva a cabo, destaca el aislamiento acústico en las instalaciones, oficinas, cubiertas y fachadas mediante la instalación de carpinterías de mayor calidad, PVC, aluminio, madera, etc., siempre manteniendo las condiciones estéticas de las edificaciones y su integración paisajista.

8. Se contrastó la existencia de un fundamento teórico econométrico testado y labrado para explicar la relación existente entre el precio de las distintas viviendas de la zona de estudio y los distintos conjuntos de características o atributos que los componen. Este razonamiento es el expresado en el modelo teórico de Rosen (1974) y se esgrime como base para un análisis de la variabilidad del precio de la vivienda teniendo en cuenta su heterogeneidad. Asimismo, se ha buscado y completado una base de datos sobre las viviendas del área de estudio con un extenso número de regresores, que permitieron un análisis de la mayor parte de atributos potencialmente explicativos del precio de la vivienda. La escasez de bases de datos fiables sobre precios y atributos o características de viviendas con observaciones microeconómicas es una de las principales causas de la falta en España de trabajos sobre inmuebles que utilicen la metodología hedónica, y mucho más cuando nos referimos a la obtención de los datos sobre contaminación acústica militar.

9. Nuestro modelo final incluye variables que *a priori* esperábamos explicarían las variaciones en la endógena de la muestra. De todo el estudio elaborado y en base a los datos conseguidos, debemos resaltar la importancia que tiene para la variación en el precio de la vivienda en el entorno residencial aledaño a la BA de Gando, la contaminación acústica que emite las aeronaves militares destacadas en dicha BA, además de las distintas variables exógenas estudiadas. En este sentido, la ecuación obtenida nos indica que aumentan el valor de la variable endógena las siguientes variables explicativas, por orden de importancia: si la vivienda recibe una contaminación acústica de entre 60 y 65 dB, de entre 65 y 70 dB, y de entre 55 y 60 dB; si tiene garaje; a mayor superficie del terreno, mayor precio; a más metros cuadrados construidos, mayor precio; a mayor número de habitaciones/dormitorios; y a mayor distancia de foco emisor, mayor precio. En contra, si la vivienda tiene un estado de conservación muy malo, malo o regular; o si se encuentra situada en el Municipio de Agüimes; o si ha pasado mayor tiempo desde que se construyó, y siempre según nuestro modelo, la variable endógena se verá reducida. Finalmente, parece paradójico que las variables descartadas inicialmente por tener un nivel de significación individual por debajo del 5% (Ssue, Antg, Tipo, Econ4, Econ5, Mpac, Atra, Dipt, Nase, Locn, Dist, Cyac, Zgeo1, Zgeo3, Nqpe_{1,...,5}, Cocu1, Cocu5, I_Scon, I_Antg, I_Nhab, I_Nase, I_Dist, SqScon, SqSsue, SqNhab y SqNase) estimábamos, *a priori*, que fuesen influyentes, pero nuestro modelo nos dice lo contrario. Por último, mencionar que nuestro modelo tiene un nivel bastante aceptable de predicción.
10. Se conformó un ajuste adecuado entre precios y características o atributos finales que dan valor a las viviendas, obteniendo resultados sobre las variables realmente explicativas de las diferencias de precios entre inmuebles y sobre la aportación marginal implícita o PH de cada una de estas variables al precio final de la vivienda. La elección de la forma funcional adecuada a estimar en nuestra regresión hedónica se redujo a una cuestión empírica, ya que no existen aportaciones en estudios precedentes que demuestren categóricamente que una forma funcional concreta sea la más idónea. Por ello, se debe seleccionar la que mejor se ajuste a los datos de la muestra y a los regresores seleccionados. En nuestro caso, la metodología de regresión múltiple a través de MCO concluye que la mejor aproximación hedónica es el modelo semilogarítmico, empleando como endógena el precio de la vivienda en términos logarítmicos y como regresores: superficie construida; estado de conservación muy malo, malo y regular; presencia

de garaje; número de habitaciones/dormitorios; contaminación acústica de 55 a 60, de 60 a 65 y de 65 a 70 dB; superficie del terreno en logaritmo; antigüedad al cuadrado; y distancia al foco del ruido al cuadrado.

11. Casi todos los estudios internacionales y nacionales sobre la valoración económica del ruido, están limitados a los efectos causados por el tráfico ferroviario, aéreo y vehicular. Por lo tanto, sería muy interesante desarrollar investigaciones que permitan la estimación económica de la pérdida de bienestar asociada a diferentes contextos como los ruidos generados en fábricas, actividades industriales, en centros de generación de electricidad, grandes obras urbanas que utilicen maquinaria pesada, entre otras fuentes emisoras de ruido. Destacamos que, como complemento de este trabajo y futuros estudios sobre la contaminación acústica, sería recomendable profundizar en la tipología concreta de las viviendas; considerar un período de tiempo de varios años para determinar una tendencia del precio de la vivienda y compararlos con las operaciones aéreas y los niveles de ruido de la BA de Gando; o realizar el mismo análisis para otras BA del territorio español. Además, otra línea de investigación muy interesante, podría ser tomar en consideración el mercado del alquiler de viviendas en la zona, y en qué medida se ve afectada por las operaciones aéreas militares. Por último, se podría analizar otras vías de investigación, no sólo los aspectos acústicos, sino ampliar el estudio tomando en consideración, por un lado, la calidad química del aire en la situación actual con el cálculo de las emisiones anuales de los principales contaminantes (NO_x, CO, SO_x, HC y PM₁₀) de origen aeroportuario militar de la propia BA de Gando y, modelización del transporte y dispersión de dichos contaminantes en la atmósfera que podrían influir en el valor de las propiedades residenciales de la zona. Por último, se podría realizar un estudio pormenorizado de los distintos contaminantes (líquidos, sólidos y gaseosos) emitidos por la actividad conjunta de la BA (aeronaves, vehículos, armamento, combustibles, etc.) y calcular su coste ecológico.

Se conformó un ajuste adecuado entre precios y características o atributos finales que dan valor a las viviendas, obteniendo resultados sobre las variables realmente explicativas de la diferencias de precios entre inmuebles y sobre la aportación marginal implícita o PH de cada una de estas variables al precio final de la vivienda en los alrededores de la BA de Gando para el escenario 2012. En nuestro caso, la metodología de regresión múltiple a través de MCO concluyó que la mejor

aproximación hedónica es el modelo semilogarítmico, empleando como endógena el precio de la vivienda en términos logarítmicos y una serie de regresores. En definitiva, el resultado fue consecuente con otros estudios que arrojaban la misma conclusión: a mayor nivel de dB percibidos, mayor valor tiene la vivienda en los municipios de estudio. Este resultado lo debemos asumir como que, el estudio aislado de la variable contaminación acústica, como único factor relevante para nuestra endógena, no es concluyente, y que sí, tenemos que añadir otras variables explicativas. A medida que introducimos más variables o atributos, la contaminación acústica pasa de ser perjudicial a, según los datos obtenidos en nuestro estudio, a ser un factor positivo en el precio de la vivienda de la muestra seleccionada de la zona de estudio.

APÉNDICE. NORMATIVA DE REFERENCIA

- Ley 1/1998, de 8 de enero, de Régimen Jurídico de los Espectáculos Públicos y Actividades Clasificadas.
- Ley 55/1999, de 30 de diciembre, de medidas fiscales, administrativas y de orden social.
- Ley 6/2001, de 8 de mayo, de modificación del Real Decreto 1302/1986, de 28 de junio, de evaluación de Impacto Ambiental.
- Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.
- Real Decreto 873/1987, de 29 de mayo, sobre la limitación de las emisiones sonoras de aeronaves subsónicas.
- Real Decreto 1256/1990, de 11 de octubre, sobre limitación de emisiones sonoras de aviones de reacción subsónicos civiles.
- Real Decreto 1422/1992, de 27 de noviembre, por el que se establecen normas sobre limitación del uso en el territorio nacional de determinados aviones de reacción subsónicos civiles con el fin de incorporar al Derecho interno la Directiva 92/014/CEE de 2 de marzo.
- Real Decreto 1908/1999, de 17 de diciembre, por el que se modifica parcialmente el Real Decreto 1422/1992, de 27 de noviembre, sobre limitación del uso de aviones de reacción subsónicos civiles.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1257/2003, de 3 de octubre, por el que se regulan los procedimientos para la introducción de restricciones operativas relacionadas con el ruido de los aeropuertos.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- Orden FOM/926/2005, de 21 de marzo, por la que se regula la revisión de las huellas de ruido de los aeropuertos de interés general.
- Directiva 2002/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de marzo, sobre el Establecimiento de Normas y Procedimientos para la Introducción de Restricciones Operativas relacionadas con el Ruido en los Aeropuertos Comunitarios.

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental.
- Recomendación de la Comisión de 6 de agosto de 2003 relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes.
- Resolución de 4 de diciembre de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se formula declaración de impacto ambiental del proyecto Ampliación del aeropuerto de Gran Canaria, Las Palmas publicado en el BOE número 309 de 24 de diciembre del 2009, p.109675.
- ECAG.CEAC Doc 29: Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports 2nd edition, 1997. Recuperado de: <http://www.boeing.com/commercial/noise/ECACDOC29e.pdf>.
- ECAG.CEAC Doc 29: Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports 4th edition (2016). Recuperado de: <https://www.ecac-ceac.org/documents/10189/51566/1.+Doc29+4th+Edition+Volume+1.pdf/09f07cf1-94ed-4907-9b4a-273167d184bf>.
- OACI: Método recomendado para calcular las Curvas de Nivel de Ruido en la *Vecindad de los aeropuertos*. Circular 205-AN/1125, Montreal, Canadá, 1988.
- OACI: Protección del Medio Ambiente -Anexo 16 al Convenio sobre Aviación Civil internacional-Volumen 1: Ruido de las Aeronaves, Montreal, Canadá, 1993.
- SAE AIR 1751: Prediction Method for Lateral Attenuation of Airplane Noise during Takeoff and Landing, Society of Automotive Engineers, 1981.
- SAE AIR 1845: Procedure for the Calculation of Airplane Noise in the Vicinity of Airports, Society of Automotive Engineers, marzo 1986.
- ISO 2204:1979: Acoustics-Guide to international standards on the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on human beings.
- ISO 3891: Acoustics-Procedure for describing aircraft noise heard on the ground.
- ISO 9613-1:1993: Acoustics: Attenuation of sound during propagation outdoors - Part I: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere.
- ISO 9613-2:1996: Acoustics: Attenuation of sound during propagation outdoors - Part II: General method of calculation.
- ISO 1996-1, 1982: Acoustics: Description, measurement and assessment of environmental noise. Part I: Basic qualities and assessment procedures.
- ISO 1996-2, 1987: Acoustics: Description, measurement and assessment of environmental noise. Part II: Acquisition of data pertinent to land use.
- ISO 1996-1, 2005: Acústica: Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.
- ISO 10847:1997: Acoustics – *In-situ* determination of insertion loss of outdoor noise barriers of all type.

- ISO 11819-1:1997: Acoustics - Measurement of the influence of road surface on traffic noise - Part1: Statistical Pass-By method.
- ISO 2631-2:1989: Evaluation of human exposure to whole-body vibration – Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings (1 to 80 Hz).
- ISO 4866:1990: Mechanical vibration and shock - Vibration of buildings - Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings.
- NBE-CA-88: Condiciones Acústicas en los Edificios. Recuperado de: <http://www.jmcprl.net/CONSTRUCCION/PDF/REGLAMENTOS/ACUSTICA%20NBE-CA-88.pdf>.
- European Commission Working Group 2 Dose/Effect: Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance, febrero 2002.
- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN): Good Practice Guide for strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, diciembre 2003.
- European Commission DG TREN-F3: Study on the different aspects of Noise Limits at Airports, octubre 2004.
- Decreto Supremo N°594/99 del Ministerio de Salud por la que se aprueba el Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo Publicado en el Diario Oficial 29 de Abril de 2000 Párrafo III De los agentes físicos del ruido del artículo 70 al 94.
- NCh2491-1999: Acústica. Guía para el uso de normas sobre medición del ruido aéreo y evaluación de sus efectos sobre las personas (resumen).
- NCh 2502/1.n2000 Acústica - Descripción y medición del ruido ambiental - Parte 1: Magnitudes básicas y procedimientos.
- NCh 2502/2.n2000 Acústica – Descripción y medición del ruido ambiental – Parte 2: Recolección de datos pertinentes al uso de suelo.
- NCh 2502/3.n2000 Acústica- Descripción y medición del ruido ambiental - Parte 3: Aplicación a límites de ruido.
- NCh 2491-1999 Acústica - Guía para el uso de normas sobre medición del ruido aéreo y evaluación de sus efectos sobre las personas.
- NCh 352.1-2000 Aislación acústica - Parte 1: Construcciones de uso habitacional-Requisitos mínimos y ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

- Abreu G., J. (1977). *Historia de la conquista de las siete Islas Canarias*. Santa Cruz de Tenerife: Editorial Goya.
- AENA (2012). *Plan de Aislamiento Acústico del Aeropuerto de Gran Canaria. Informe ejecutivo de 14 de junio del 2012*. Recuperado de <http://www.aena.es/es/corporativa/planes-aislamiento-acustico.html>.
- Aguirre N., C., y R. Salinas, R. (2005). Impacto del ruido urbano en el valor de los departamentos nuevos: un estudio de precio hedónico aplicado a bienes ambientales. *Revista de Construcción*, 4(1), 60-70.
- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE transactions on automatic control*, 19(6), 716-723.
- Anglin, P.M. y Genzay, R. (1996). Semiparametric estimation of a hedonic price function. *Journal of Applied Econometrics*, 11, 633-648.
- Anselin, L. (1995). Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis*, 27(2), 93-115.
- Antón B., F. (1995). El impacto de la contaminación acústica en los ámbitos peri aeroportuarios: el caso de Madrid-Barajas. Servicio de Publicaciones, *Anales de Geografía de la Universidad Complutense de Madrid*, (15), 53-64.
- Arriaza, M., González, J., Ruiz, P. y Cañas, J. (2002). Determinación del valor de uso de cinco espacios naturales protegidos de Córdoba y Jaén. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 196, 153-172.
- Arrow, K., R. Solow, P.R. Portney, E.E. Leamer, R. Radner y H. Shuman (1993). Report of the NOAA Panel on Contingent Valuation. *Federal Register*, 58(10), pp. 4601-4614.
- Azqueta O., D. (1997). *Valoración económica de la calidad ambiental*. Madrid: McGraw-Hill.
- Azqueta O., D. (2007). *Introducción a la economía ambiental* (2ª edición). Madrid: McGraw-Hill.
- Barreiro, J. y Pérez-Pérez, L. (1997). El valor del uso recreativo del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. *Documento de trabajo 97/3. Servicio de Investigación Agroalimentaria. Diputación General de Aragón. Zaragoza*.
- Bartik, T.J. (1987). The estimation of demand parameters in hedonic price models. *Journal of Political Economy* 95(1), 81-88.
- Bateman, I., B. Day, I. Lake y A. Lovett (2001). *The effect of road traffic on residential property values: a literature review and hedonic pricing study*. Economic y Social Research Council (ESRC), Edimburgo (pp. 50-199). Recuperado de: <http://www.gov.scot/Resource/Doc/158818/0043124.pdf>.
- Bender, B. y Hwang, H.S. (1985). Hedonic housing price indices and secondary employment centres. *Journal of Urban Economics* 17(1), 90-107.

- Bender, B., Gronberg, T.J., y Hwang, H.S. (1980). Choice of functional form and the demand for air quality. *Review of Economics and Statistics*, 62(4), 638-643.
- Bengoechea M., A. (2004). A hedonic valuation of urban green areas. *Landscape and Urban Planning* 66(1), 35-41.
- Berglund, B., Lindvall, T. y H. Schwela, D. (1999). *Guidelines for Community Noise*. Documento WHO, Geneva (pp. 7-79). Recuperado de: <http://apps.who.int/iris/handle/10665/66217>.
- Bertrand, N.F. (1997). Meta-analysis of studies of willingness to pay to reduce traffic noise. Documento no publicado. Msc dissertation, University College, London.
- Bickel, P., Hunt, A., de Jong, G., Lair, J., Lieb, C., Lindberg, G., Mackie, P., Navrud, S., Odgaard, T., Shires, J. y Tavasszy, L. (2006). *Proposal for harmonised guidelines. Deliverable D5 HEATCO*. Recuperado de: <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/>.
- Bickel, P., Schmid, S., Tervonen, J., Hämekoski, K., Otterström, T., Anton, P., Enei, R., Leone, G., van Donselaar, P. y Carmigchel, H. (2003). *Environmental marginal cost case studies, UNITE Deliverable 11*. Stuttgart, Alemania: IER, University of Stuttgart.
- Bilbao, C. (2000). Relación entre el precio de venta de una vivienda y sus características: en análisis empírico para Asturias. *Revista Asturiana de Economía*, (18), 141-150.
- Bilbao, C., Bilbao, A., & Labeaga, J.M. (2007). A method for evaluating the excess burden associated with characteristics of the goods. *Economics Letters*, 96, 209-214.
- Bilbao, C., Bilbao, A., & Labeaga, J.M. (2010). The welfare loss associated to characteristics of the goods: application to housing policy. *Empirical Economics*, 38, 305-323.
- Bitter, C., Mulligan, G.F., y Dall'erba S. (2006). Incorporating spatial variation in housing attribute prices: a comparison of geographically weighted regression and the spatial expansion method. *Journal of Geographical Systems*, 9(1), 7-27.
- Blakley, P., y Ondrich, J. (1988). A limiting joint-choice model for discrete and continuous housing characteristics. *Review of Economics and Statistics*, 70(5) 266-274.
- Bogart, W.T., y Cromwell, B.A. (2000). How much is a neighborhood school worth? *Journal of urban Economics*, 47(2), 280-305.
- Booz-Allen y Hamilton, Inc., Desai, V.R. y Chen, J.P.(1994). *The Effect of Airport Noise on Housing Values: A Summary Report*. Office of Environmental and Energy, Federal Aviation Administration, Washington D.C. Recuperado de: <http://www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA300095&Location=U2ydoc=GetTRDoc.pdf>.
- Bourassa, S.C., Hamelink, F., Hoesli, M. y MacGregor, B.D. (1999). Defining housing submarkets. *Journal of Housing Economics*, 8, 160-183.
- Bover, O., y Velilla, P. (2001). *Precios hedónicos de la vivienda sin características: el caso de las promociones de viviendas nuevas*. Madrid: Banco de España, Servicio de Estudios Económicos.

- Bowen, W., Mikelbank, B., y Prestegaard, D. (2001). Theoretical and empirical considerations regarding space in hedonic housing price model applications. *Growth and Change*, 32(4), 466-490.
- Bowes, D.R., y Ihlanfeldt, K.R. (2001). Identifying the impacts of rail transit stations on residential property values. *Journal of Urban Economics*, 50(1), 1-25.
- Box, G.E., y Cox, D.R. (1964). An analysis of transformations. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 211-252.
- Boyle, M., y Kiel, K. (2001). A survey of house price hedonic studies of the impact of environmental externalities. *Journal of real estate literature*, 9(2), 117-144.
- Branas-Garza, P., Cosano, J. R., y Presley, J. (2001). The North-South divide and house price islands: the case of Cordoba (Spain). *International Journal of Housing Policy*, 2(1), 45-63.
- Brasington, D.M., y Hite, D. (2008). A mixed index approach to identifying hedonic price models. *Regional Science and Urban Economics*, 38(3), 271-284.
- Bristow, A. y Wardman, M. (2006). Valuation of Aircraft Noise by Time of Day: A Comparison of Two Approaches. *Transport Reviews*, 26(4), 417-433.
- Brookshire, D., M.A. Thayer, W. Schulze y R.C. d'Arge. (1982). Valuing Public Goods: A Comparison of Survey and Hedonic Approaches. *The American Economic Review*, 72(1), 165-177.
- Brunsdon, C., Fotheringham, A.S., y Charlton, M. (2002). Geographically weighted summary statistics-a framework for localised exploratory data analysis. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), 501-524.
- Calvo García-Tomel, F. y Morales G., A. (1998). *Potencial de captación y generación de tráfico del aeropuerto de Alicante*. Madrid: Editorial Civitas.
- Campos, P., Caparrós, A. y Oviedo, J. (2005). Valoración Contingente del uso recreativo y de conservación de los visitantes del Parque Natural de los Alcornocales. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 28, 115-140.
- Cantril, H. (1965). *The pattern of human concerns*. New Brunswick, New Jersey: Rutgers University Press
- Caridad, J.M. y Brañas, P. (1996). Demanda de características de la vivienda en Córdoba: un modelo de precios hedónico. *Revista de Estudios Regionales*, 46, 139-153.
- Carlsson, F., Lampi, E. y Martinsson, P. (2004). The marginal values of Noise disturbance from air traffic: does the time of the day matter? *Transportation research Part D. Transport and environment*, 9(5), 373-385.
- Carpintero, O. (2004). *El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*. Lanzarote: Fundación César Manrique.

- Carson, R. (1991). Constructed Markets. En John B. Braden y Charles D. Kolstad, *Measuring the demand for environmental Quality* (pp. 121-162). Amsterdam: Elsevier Science Publisher.
- Case, K. y Quigley, J.M. (2011). *How Housing Busts End: Home Prices, User Cost, and Rigidities During Down Cycles*. Berkeley Program on Housing and Urban Policy. UC Berkeley: Berkeley Program on Housing and Urban Policy. Recuperado de: https://gspp.berkeley.edu/assets/uploads/research/pdf/CQ_housing_busts_end_093009.pdf.
- Casetti, E. (1972). Generating models by the expansion method: applications to geographical research. *Geographical Analysis*, 4(1), 81-91.
- Cervero, R., y Duncan, M. (2002). Benefits of proximity to rail on housing markets: Experiences in Santa Clara County. *Journal of Public Transportation*, 5(1), 1-18.
- Cheshire, P., y Sheppard, S. (1995). On the price of land and the value of amenities. *Economica London*, 62, 247-267.
- Clapp, J.M., y Giaccotto, C. (1998). Residential hedonic models: A rational expectations approach to age effects. *Journal of Urban Economics*, 44(3), 415-437.
- Cohen, J.P. (1997). Some issues in benefit-cost analysis for airport development. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1567), 1-7.
- Cohen, J.P. y Coughlin, C.C. (2008). Spatial hedonic models of airport noise, proximity, and housing prices. *Journal of Regional Science*, 48, 859-878.
- Collins, A. y Evans, A. (1994). Aircraft Noise and Residential Property Values: An Artificial Neural Network Approach. *Journal of Transport Economics and Policy*, 28(2), 175-194.
- Commission on the Third London Airport y Roskill, E. (1971): *Report*. Londres: Her Majesty's Stationery Office.
- Consejería de Cultura y Patrimonio Histórico del Cabildo de Gran Canaria (2002). *Boletín de Patrimonio Histórico*, (1), 12. Recuperado de: <http://www.grancanariapatrimonio.com/documents/251793/287894/Bolet%C3%ADn+de+Patrimonio+Hist%C3%B3rico+N1.df/adab34e4-413f-444e-b176-f58b40808c41>
- Correa R., Osorio M., J. y Patiño Valencia, B. (2011). Valoración económica del ruido: una revisión analítica de estudios. *Semestre Económico*, 14(29), 53-76.
- Cropper, M.L. (1981). The value of urban amenities. *Journal of regional science*, 21(3), 359-374.
- Cropper, M.L., Deck, L.B., y McConnell, K.E. (1988). On the choice of functional form for hedonic price functions. *Review of Economics and Statistics*, 70(4), 668-675.
- Del Saz, S. (1996). *La demanda de servicios recreativos de espacios naturales: aplicación del método de valoración contingente al Parque Natural de L'Albufera*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Valencia, Valencia.

- Del Saz, S., Hernández, F. y Sala, R. (2008). Estimación del valor económico de la calidad del agua de un río mediante una doble aproximación: una aplicación de los principios económicos de la Directiva Marco del Agua. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, 9(1), 37-63.
- Dickie, M. (2003). Defensive behavior and damage cost methods. En Patricia A. Champ, Kevin J. Boyle y Thomas C. Brown, *A primer on nonmarket valuation* (pp. 395-444). Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Doornik, J.A., y Hansen, H. (1994). *An omnibus test for univariate and multivariate normality* (No. W4y91.) (pp. 1-7). Economics Group, Nuffield College, University of Oxford.
- Downes, T.A., y Zabel, J.E. (2002). The Impact of School Characteristics on House Prices: Chicago 1987-1991. *Journal of Urban Economics*, 52(1), 1-25.
- Dubin, R. y Sung, C. (1987). Spatial variation in the price of housing: Rent gradients in non-monocentric cities. *Urban Studies*, 24(3), 193-204
- Duque, J., Velásquez, H. y Agudelo, J. (2011). Infraestructura pública y precios de vivienda: una aplicación de regresión geográficamente ponderada en el contexto de precios hedónicos. *Ecos de Economía*, 15(33), 95-122.
- Ebbeler, D.H. (1975). On the Probability of Correct Model Selection Using the Maximum R² Choice Criterion. *International Economic Review*, 16, 516-520.
- Englund, P., Quigley, J. y Redfearn, C. (1999). The choice of methodology for computing price indexes : comparisons of temporal aggregation and sample definition. *Journal of Real State Finance and Economic* 19(2), 91-112.
- Epple, D. (1987). Hedonic prices and implicit markets: estimating demand and supply functions for differentiated products. *Journal of political economy*, 95(1), 59-80.
- Espey, M., y Lopez, H. (2000). The Impact of Airport Noise and Proximity on Residential Property Values. *Growth and Change*, 31(3), 408-419.
- FAA (1999). *INM 6.0 User's Guide: Integrated Noise Model 6.0*. Washington, D.C.: Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation. Recuperado de: http://www.faa.gov/regulations_policies/.
- FAA (1999a). *Aircraft Noise: How We Measure It and Assess Its Impact*. Washington, D.C.: Federal Aviation Administration, Office of Environment and Energy. Recuperado de: <http://www.faa.gov/region/aea/noise/tindxbrkdown.htm>.
- FAA (2002). *INM, integrated noise model, version 6.0: Technical manual*. Washington, D.C.: Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation. Recuperado de: http://www.faa.gov/regulations_policies/.
- FAA (2011). *Noise Standards: Aircraft Type and Airworthiness Certification, Part 36*. (pp. 900-970). Washington, D.C.: Federal Aviation Administration, U.S. Department of Transportation. Recuperado de: <https://www.gpo.gov/fdsys/pkg/CFR-2011-title14-vol1/pdf/CFR-2011-title14-vol1-part36.pdf>.

- Faburel, G. (2002). Évaluation Du Coût Social Du Bruit Des Avions. Application De La Méthode d'Évaluation Contingente Au Cas d'Orly". *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, 42, 43-74.
- Feitelson, E., Hurd, R., y Mudge, R. (1996). The impact of airport noise on willingness to pay for residences. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 1(1), 1-14.
- Fisher, R.A. (1922). On the interpretation of χ^2 from contingency tables, and the calculation of P. *Journal of the Royal Statistical Society*, 85(1), 87-94.
- Fleming, G., Burstein, J., Rapoza, A., Senzig, D., Gulding, J. y Connor, T. (2000). Updated lateral attenuation in FAA's Integrated Noise Modal. En *International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering* (pp. 1-5). Niza: Internoise 2000 Francia.
- Flowerdew, A.D. (1972). The cost of airport Noise. *Journal of the Royal Statitital Society*, 21(1), 31-46.
- Forrest, D., Glen, J., y Ward, R. (1996). The impact of a light rail system on the structure of house prices: a hedonic longitudinal study. *Journal of Transport Economics and Policy* 30, 15-29.
- Fraas, A.G., y Munley, V.G. (1989). Economic objectives with a bureaucratic decision process: Setting pollution control requirements under the Clean Air Act. *Journal of Environmental Economics and Management*, 17(1), 33-53.
- Frankel, M.E. (1988). *The effects of aircraft noise and airport activity on residential property values: a survey study*. BEBR Faculty, Working Paper 1450, Bureau of Economic and Business Research, College of Commerce and Business Administration, University of Illinois. Illinois: Urbana-Champaign.
- Freeman, A.M. (1979). Hedonic price, property values and measuring environmental benefits: a survey of the issues. *The Scandinavian Journal of Economics*, 81(2), 154-173.
- Freeman, A.M. (1992). El método hedónico. En *Evaluación económica de los costes y beneficios de la mejora ambiental. Monografías de Economía y Medio Ambiente 4* (pp. 125-154). Sevilla: Junta de Andalucía.
- Freeman, A.M. (2003). *The Measurement of Environmental and Resource Values: Theories and Methods* (2nd editions). Washington DC: Resurce for the future.
- García-Montalvo, J. (2003). La vivienda en España: desgravaciones, burbujas y otras historias. *Perspectivas del Sistema Financiero Español*, (78), 1-43.
- García-Montalvo, J. y Mas Ivars, M. (2000). *La vivienda y el sector de la construcción en España*. Valencia: Caja de Ahorros del Mediterráneo.
- García-Montalvo, J., y Pérez, F. (1996). *Metodología y medición del impacto económico de los aeropuertos: el caso del aeropuerto de Valencia*. Madrid: Cívitas.
- Garrod, G., y Willis, K. (1992). Valuing goods characteristics: An application of the hedonic Price method to environmental attributes. *Journal of Environmental Management*, 1(34), 59-76.

- Genzay, R., y Yang, X. (1996). A forecast comparison of residential housing prices by parametric versus semiparametric conditional mean estimators. *Economics letters*, 52(2), 129-135.
- Gibbons, S., y S. Machin (2003). Valuing English Primary Schools, *Journal of Urban Economics*, 53(2), 197-219.
- Gibson, J. (1976). The Interpretation of Property Price Changes of a Measure of the Welfare Benefits of Pollution Control: Two Simple Models. *Urban Studies*, 13(1), 45-50.
- Gillen, D.W. y Levesque, T.J., (1989). *Alternative methodologies for determining the impact and valuation of aviation noise: A survey of the applications*. Transport Canada Technical Report 89/02. Montreal: Transportation Development Centre.
- Gillen, D.W. y Levesque, T.J., (1991). *Airport Noise and Duration Costs in Housing Markets*. Working Papers 91144, Wilfrid Laurier University, Department of Economics. Canada: Waterloo, Ont.
- Gómez Gómez, C.M. (2002). El precio hedónico de la contaminación del aeropuerto de Madrid-Barajas. *Proyecto Madrid III: Evaluación económica del impacto ambiental del aeropuerto Madrid-Barajas*. Madrid: AENA-Universidad de Alcalá. Documento no publicado.
- Goodman, A.C. (1978). Hedonic prices, price indices and housing markets. *Journal of urban economics*, 5(4), 471-484.
- Goodman, A.C. (1988). An econometric model of housing price, permanent income, tenure choice and housing demand. *Journal of Urban Economics*, 23(1), 327-353.
- Goodman, A.C. (1998). Andrew Court and the invention of hedonic price analysis. *Journal of Urban Economics*, 44(2), 291-298.
- Goodman, A.C. y Kawai, M. (1982). Permanent income, hedonic prices, and demand for housing: new evidence. *Journal of Urban Economics*, 12(2), 214-237.
- Gracia, A., y Perez, L.P., Sanjuán, A.I., y Hurle, J.B. (2003). Análisis hedónico de los precios de la tierra en la provincia de Zaragoza. *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, 54-55.
- Greene, W.H. (2003). *Econometric Analysis* (5th editions). New York: Prentice Hall.
- Griliches, Z. y Board of Governors of the Federal Reserve System (U.S.). (1971). *Price indexes and quality change: Studies in new methods of measurement*. Cambridge, Mass: Harvard University Press.
- Guadagni, A. y Negre, E. (1979). Inversión en infraestructura aeroportuaria. Una aplicación del análisis de costo-beneficio. *Económica*, 24(1), 33-70.
- Gujarati, D.N. (2003). *Basic Econometrics* (4th editions). Boston, Mass: McGraw-Hill.
- Haider, M., y Miller, E. (2000). Effects of transportation infrastructure and location on residential real estate values: application of spatial autoregressive techniques. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (1722), 1-8.

- Halstead, J.M., Bouvier, R.A., y Hansen, B.E. (1997). On the issue of functional form choice in hedonic price functions: further evidence. *Environmental Management*, 21(5), 759-765.
- Halvorsen, R., y Palmquist, R.B. (1980). The interpretation of dummy variables in semilogarithmic equations. *American economic review*, 70(3), 474-75.
- Hanley, N. y Spash, C.L. (1993). *Cost Benefit Analysis and The Environment*. Cheltenham: Edward Elgar publishing Limited.
- Hannan, E.J., y Quinn, B.G. (1979). The determination of the order of an autoregression. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 41(2), 190-195.
- Haro, A. y Taddei, C. (2010). Valoración ambiental: aportaciones, alcances y limitaciones. *Problemas del desarrollo*, 41(160), 209-221.
- Harris, C.M. (1995). *Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido* (3ª edición). Madrid: McGraw-Hill.
- Harrison, D. y Rubinfeld, D.L. (1978). Hedonic housing prices and the demand for clean air. *Journal of Environmental Economics and Management*, 5(1), 81-102.
- Haurin, D.R., y Brasington, D. (1996). School quality and real house prices: Inter-and intrametropolitan effects. *Journal of Housing Economics*, 5(4), 351-368.
- Hoover, K.D., y Perez, S.J. (1999). Data mining reconsidered: encompassing and the general-to-specific approach to specification search. *The econometrics journal*, 2(2), 167-191.
- Hoyos R., D. (2004). La estimación de los costes externos del transporte: una aplicación para Euskadi. *Ekonomiaz*, 3(57), 240-273.
- Huang, J.C., y Palmquist, R.B. (2001). Environmental conditions, reservation prices, and time on the market for housing. *Journal of Real Estate Finance and Economics*, 22(2-3), 203-219.
- Huber, P.J. (1981). *Robust statistics*. New York: Wiley.
- Ihlanfeldt, K.R. y Martínez-Vázquez, J. (1985). Alternative value estimates of owner-occupied housing: evidence on simple selection bias and systematic errors. *Journal of Housing Economics* 20(1), 356-369.
- INFRAS/IWW (2004). *Costes externos del transporte*. Estudio de actualización. Resumen Zurich/Karlsruhe. Recuperado de: <http://www.istas.ccoo.es/descargas/INFRAS%20IWW%20Costes%20de%20transporte%20externos%20Estudio%20de%20actualidad%20Resumen.pdf>.
- Jarque, C.M., y Bera, A.K. (1980). Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics letters*, 6(3), 255-259.
- Jasper, D. y Straaten, W. (2009). Monetary valuation of aircraft Noise: A hedonic analysis around Amsterdam airport. *Journal of Ecological Economics*, 68(11), 2850-2858.
- Johnston, J. (1984). *Métodos de econometría* (4ª edición). Barcelona: Vicens Vicens

- Kain, J.F., y Quigley, J.M. (1975). Major Findings on the Structure of Urban Housing Markets and the Effects of Racial Discrimination. En John F. Kain y John M. Quigley, *Housing Markets and Racial Discrimination: A Microeconomic Analysis* (pp. 283-300). Chicago: NBER.
- Keech, W.L. (1982). *Economic values for evaluation of Federal Aviation Administration investments and regulatory programs*. Washington D.C.: Federal Aviation Administration, Office of Aviation Policy and Plans.
- Kerry S., V. y Huang, J.C. (1995). Can Markets Value Air Quality? A Meta-análisis of Hedonic Property Value Models. *Journal of Political Economy*, 103(1), 209-227.
- Kim, C.W., Phipps, T.T., y Anselin, L. (2003). Measuring the benefits of air quality improvement: a spatial hedonic approach. *Journal of environmental economics and management*, 45(1), 24-39.
- Kim, S. (1992). Search, hedonic prices and housing demand. *Review of Economics and Statistics*, 74(3), 503-508.
- Kolstad, C.D. (2001). *Economía ambiental*. México: Oxford University press.
- Lake, I.R., Lovett, A., Bateman, I.J. y Day, B. (2000). Improving land compensation procedures via GIS and hedonic pricing. *Environment and Planning C: Government and Policy*, 18(6), 681-696.
- Lambert, J., J. Poisson, F., y Champlovier P. (2001). Valuing benefits of road traffic Noise abatement program: A contingent valuation study. En 17th international congress on acoustics, (pp. 2-3). Bron, Francia: INRETS-LTE.
- Lancaster, K. (1966). A New Approach To Consumer Theory. *Journal of Political Economy*, 74(2), 132-157.
- León, C.J. (1996). Valoración contingente de espacios naturales en Gran Canaria: El valor de no uso y el efecto de formato. En D. Azqueta O. y L. Pérez P., *Gestión de espacios naturales. La demanda de servicios recreativos* (pp. 125-142). Madrid: McGraw-Hill.
- Levesque, T.J. (1994). Modeling the Effects of Airport Noise on Residential Housing Markets: A case study of Winnipeg International Airport. *Journal of Transport Economics and Policy*, (28), 199-210.
- Linneman, P. (1980). Some empirical results on the nature of the hedonic price function for the urban housing market. *Journal of Urban Economics*, 8(1), 47-68.
- Linneman, P. y Voith, R. (1989). Housing price functions and ownership capitalization rates. *Journal of Urban Economics*, 30(1), 100-111.
- Lipscomb, C. (2003). Small cities matter, too: the impacts of an airport and local infrastructure on housing prices in a small urban city. *Review of Urban y Regional Development Studies*, 15(3), 256-271.
- Mackie, P.J. (1983). Appraisal of regional airport projects -A case study. En K.J. Button y A.D. Pearman, *The practice of transport investment appraisal*. Aldershot: Avebury.

- Maibach, M., Schreyer, C., Sutter, D., Van Essen, H.P., Boon, B.H., R. Smokers, A. Schroten, C. Doll, B. Pawlowska y M. Bak (2008). *Handbook on estimation of external costs in the transport sector*. Bruselas: Comisión Europea.
- Mäler, K.G. (1977). A note on the use of property values in estimating marginal willingness to pay for environmental quality. *Journal of environmental Economics and Management*, 4(4), 355-369.
- Mardones, C. (2006). Impacto de la percepción de la calidad del aire sobre el precio de las viviendas en Concepción-Talcahuano, Chile. *Cuadernos De Economía*, 43(128), 301-329.
- Marín, J.M. y García-Verdugo, J. (2003). *Bienes Públicos Globales, Política Económica y Globalización*. Madrid: Ariel.
- Mark, J.H. (1980). A Preference Approach to Measuring the Impact of Environmental Externalities. *Land Economics*, 56(1), 80-85.
- Marmolejo D., C. (2008). La Incidencia de la Percepción del Ruido Ambiental sobre la Formación Espacial de los Valores Residenciales: Un Análisis para Barcelona. *Revista de la Construcción*, 7(1), 4-19.
- Marmolejo D., C. y Romano C., J. (2009). La valoración económica social del ruido aeroportuario: un análisis para el entorno residencial del aeropuerto de Barcelona. *Ciudad y territorio: Estudios territoriales*, (159), 65-86.
- Marquis-Favre C., Premat E. y Aubrée D. (2005b). Noise and its effects - A review on qualitative aspects of sounds. Part II: Noise and annoyance. *Acta Acoustica united with Acustica*, 91(4), 626-642.
- Marquis-Favre, C., Premat, E., Aubrée, D. y Vallet, M. (2005a). Noise and its effects - A review on qualitative aspects of sounds. Part I: Notions and acoustic ratings. *Acta Acoustica united with Acustica*, 91(4), 613-625.
- Martínez-Carrasco, F., Martínez-Paz, J.M., Carreño, F., Vera, M. y Perni, A. (2008). Multifuncionalidad de la agricultura del Noroeste de la Región de Murcia. En *VIII Congreso SEAE* (pp. 116). Murcia: Sociedad Española de Agricultura Ecológica.
- McMillen, D.P. (2003). Spatial autocorrelation or model misspecification? *International Regional Science Review*, 26(2), 208-217.
- McMillen, D.P. (2004). Airport expansions and property values: the case of Chicago O'Hare Airport. *Journal of urban economics*, 55(3), 627-640.
- Meecham, W.C. y Shaw, N.A. (1993). Increase in Mortality Rates Due to Aircraft Noise. *Schriftenreihe des Vereins fur Wasser, Boden und Lufthygiene*, 88, 428-441.
- Meister, E. y Donatelle, R. (2000). The impact of commercial aircraft Noise on Human Health: A neighborhood study in metropolitan Minnesota. *Journal of Environmental Health*, 63(4), 8-15.
- Michaels, R. y Smith, V. (1990). Market segmentation and valuing amenities with hedonic models: The case of hazardous waste sites. *Journal of Urban Economics* 28, 223-242.

- Miedema, H. y Vos, H. (1998). Exposure response relationships for transportation Noise. *Journal of the Acoustical Society American*, 104(6), 3432-3445.
- Mills, S.E. y Simenauer, R. (1996). New hedonic estimates of regional constant quality house prices. *Journal of Urban Economics* 39(2), 209-215.
- Ministerio de Defensa (2006). Mapa de Ruido de la Base Aérea de Gando, Gran Canaria, noviembre 2006. Estudio no publicado. Dirección General de Infraestructura, Laboratorio de Ingenieros del Ejército, Madrid.
- Ministerio de Defensa (2006). *Plan General de Medio Ambiente 2007-2021. Secretaria de Estado de Defensa, Dirección General de Infraestructura*. Recuperado de: <http://www.defensa.gob.es>.
- Ministerio de Defensa (2007). Fuerzas Armadas y Medio Ambiente: Soluciones Naturales. *Revista Española de Defensa*, (226), 43-45.
- Ministerio de Fomento y AENA (2007). *Mapas Estratégicos de Ruido de los Grandes Aeropuertos. Aeropuerto de Gran Canaria. Memoria mayo 2007*. Recuperado de: http://www.aena-aeropuertos.es/csee/ccurl/12/628/MER_GCLP_MEMORIA_V1.pdf.
- Mitchell, R.C. y R. Carson. (1989). *Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method*. Washington, D.C.: Resources for the Future Press.
- Morrison, S.A., Winston, C., y Watson, T. (1999). Fundamental flaws of social regulation: The case of airplane noise. *Journal of Law and Economics*, 42(2), 723-744.
- Naredo, J.M. (2010). *El modelo inmobiliario español y sus consecuencias*. Boletín CF+S, 44, (pp. 13-27). Recuperado de: <http://habitat.aq.upm.es/boletin/n44/ajnar.html>.
- Nash, C. (2003). UNITE, Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency- Final Report for Publication. Funded by the 5th Framework RTD Programme, Institute for Transport Studies. Leeds: University of Leeds.
- Navrud, S. (2002). The State of art on economic valuation of Noise. *Final report to European Commission DG Environment*. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/254318936_The_State-Of-The-Arton_Economic_Valuation_of_Noise
- Nelson, J.P. (1978). Residential choice, hedonic prices, and the demand for urban air quality. *Journal of Urban Economics*, 5(3), 357-369.
- Nelson, J.P. (1979). Airport Noise, Location Rent, and the Market for Residential Amenities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 6(4), 320-331.
- Nelson, J.P. (1980). Airports and property values: A survey of recent evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, 14(1), 37-52.
- Nelson, J.P. (1982). Highway noise and property values: A survey of recent evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, 16(2), 117-138.
- Nelson, J.P. (2004). Meta-analysis of airport noise y hedonic property values: problems and prospects. *Journal of Transport Economics and Policy*, 38(1), (1-27).
- Novalés, A. (1993). *Econometría*. Madrid: McGraw Hill.

- Nwaneri, V.C. (1970). Equity in cost-benefit analysis. A case study of the Third London Airport. *Journal of Transport Economics and Policy*, 4(3), 235-254.
- Ody, J.G. (1969). Application of cost-benefit analysis to airports. The case of Nicosia, Cyprus. *Journal of Transport Economics and Policy*, 4(3), 322-332.
- Osland, L. (2010). An application of spatial econometrics in relation to hedonic house price modeling. *Journal of Real Estate Research*, 32(3), 289-320.
- Osorio, J.D., (2006). El método de transferencia de beneficios para la valoración económica de servicios ambientales: estado del arte. *Semestre Económico*, 9(18), 107-124.
- Palmquist, R.B. (1980). Alternative techniques for developing real estate price indexes. *Review of Economics and Statistics*, 63(3), 442-448.
- Palmquist, R.B. (1984). Estimating the Demand for the Characteristics of Housing. *Review of Economics and Statistics*, 66(3), 394-404.
- Palmquist, R.B. (2005). Property Value Models. En Karl-Gören Mäler y Jeffrey R. Vincent, *Handbook of Environmental Economics (Vol. 2): Valuing environmental changes*. (pp. 763-819). Amsterdam: Elsevier.
- Parsons, G.R. (1986). An almost ideal demand system for housing attributes. *Southern Economic Journal*, 53(2), 347-363.
- Paul, M.E. (1971). Can Aircraft Nuisance Noise be Measured in Money? *Oxford Economic Papers, Oxford University Press*, 23(3), 297-316.
- Pearce, D.W. y Turner, R.K. (1990). *Economics of natural resources and the environment*. New York: Harvester Wheatsheaf.
- Peña, D. y Ruiz-Castillo, J. (1984). Robust Methods of Building Regression Models: an Application to the Housing Sector. *Journal of Business and Economic Statistics*, 2(1), 10-20.
- Perelló-Sivera, J. (1996). *Economía ambiental*. Alicante: Universidad de Alicante.
- Pérez Zabaleta, A. y San Martín, E. (2004). Recursos hídricos y contabilidad verde. En P. Campos Palacín, y J.M. Casado Raigón, *Cuentas ambientales y actividad económica* (pp. 231-265). Madrid: Consejo General de Colegios de Economistas de España.
- Pérez Zabaleta, A., Méndez Pérez, E. y Martínez Merino, J.L. (2011). Estado del Bienestar, ecología y desarrollo sostenible: 40 años de Economía ambiental. *Comunitania: Revista internacional de trabajo social y ciencias sociales*, (2), 99-124.
- Pérez Zabaleta, A., Méndez Pérez, E. y Martínez Merino, J.L. (2013). Río +20. Acciones ambientales en España. *Revista Economistas*, 135, 239-245.
- Pommerehne W.W. (1988). Measuring Environmental Benefits: A Comparison of Hedonic Technique and Contingent Valuation. En D. Bos, Rose M. y C. Seidl, *Welfare and Efficiency in Public Economics* (pp. 363-400). Berlin: Springer-Verlag.
- Portney, P.R. (1981). Housing prices, health effects, and valuing reductions in risk of death. *Journal of environmental economics and management*, 8(1), 72-78.

- Prada, A., González, M. y Polomé, P. (2001). Especificaciones y consideraciones muestrales en la estimación de la demanda de un espacio natural singular: las Illas Cíes en Galicia. *Economía Agraria y Recursos Naturales*, (2), 67-92.
- Quigley, J.M. (1982). Nonlinear budget constraints and consumer demand: An application to public programs for residential housing. *Journal of Urban Economics*, 12(2), 177-201.
- Rae, D.A. (1983). The value to visitors of improving visibility at Mesa Verde and Great Smoky National Parks. En R.D. Rowe y L.G. Chestnut, *Managing air quality and scenic resources at National Parks and Wilderness Areas* (pp. 217-234). Boulder: Westview Press.
- Rahmatian, M., y Cockerill, L. (2004). Airport noise and residential housing valuation in southern California: A hedonic pricing approach. *International Journal of Environmental Science y Technology*, 1(1), 17-25.
- Ramsey, J.B. (1969). Tests for specification errors in classical linear least-squares regression analysis. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 350-371.
- Randall, B. (1998). The Impact of Detrimental Conditions on Property Value. *Appraisal Journal*, 69(3), 380-391.
- Randall, B. (1999). *Real Estate Damages: An Analysis of Detrimental Conditions*. Chicago: Appraisal Institute.
- Randall, B. (2001). The Impact of Airport Noise on Residential Real Estate. *Appraisal Journal*, 69(3), 312-321.
- Rebolledo, D. y Pérez-Pérez, L. (1994). Valoración contingente de bienes ambientales: aplicación del Parque Natural de Dehesa del Moncayo. *Documento de trabajo 94/6*. Servicio de Investigación Agroalimentaria. Dirección General de Aragón. Zaragoza.
- Regecove, V. y Kellerova, E. (1995). Effects of urban Noise pollution on blood pressure and heart rate in preschool children. *Journal of Hypertension*, 13(4), 405-412.
- Reingold, L. (1995). Research nor Regulation. Airlines and aircraft manufacturers make their case against demands for more-stringent rules. *Air Transport World, Penton Publishing*, 32(5), 79-85.
- Revollo D.A. (2009). Calidad de la vivienda a partir de la metodología de precios hedónicos para la ciudad de Bogotá-Colombia. *Revista Digital Universitaria de la Unam*, 10(7), 10-15. Recuperado de <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num7/art43/art43.pdf>.
- Rhodes, D.P., y Ollerhead, J.B. (2001). Aircraft Noise Model Validation. En *International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. La Haya: Internoise 2001.
- Ridker, R.G., y Henning, J.A. (1967). The determinants of residential property values with special reference to air pollution. *Review of Economics and Statistics*, 49(4), 246-257.
- Riera, P. (1994). *Manual de valoración contingente*. Madrid: Ministerio de Economía y Hacienda, Instituto de Estudios Fiscales.

- Riera, P. y Macian, M. (1999). *Análisis coste-beneficio de la ampliación del aeropuerto de Barcelona con externalidades ambientales: Ruido, polución atmosférica y ocupación de humedales*. Madrid: FEDEA.
- Riera, P., Descalzi, C. y Ruiz, A. (1994). El valor de los espacios de interés natural en España: Aplicación de los métodos de la valoración contingente y el coste del desplazamiento. *Revista Española de Economía*, 11(1), 207-230.
- Robusté, F. y Clavera, J. (1997). Impacto económico del aeropuerto de Barcelona. Barcelona: Cívitas.
- Rodríguez, M.E.M. (2005). Errores frecuentes en la interpretación del coeficiente de determinación lineal. *Anuario jurídico y económico escurialense*, (38), 315-331.
- Rosen, S. (1974). Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. *The Journal of Political Economy*, 82(1), 34-55.
- Rothenberg, J. (1991). *The Maze of urban housing markets: Theory, evidence, and policy*. Chicago: University of Chicago Press.
- Rueda, H.J. (2004). Valoración económica de una mejora en la seguridad y la Conservación del Parque Nacional Chingaza. *Desarrollo y Sociedad*, (54), 51-86.
- Schipper, Y. (1996). On the valuation of aircraft noise: A meta-analysis. En *36th European Congress, ETH Zurich* (pp. 1-14). Suiza: European Regional Science Association.
- Schipper, Y., P. Nijkamp y P. Rietveld (2001). Aircraft noise valuation studies y meta-analysis. *International Journal of Environmental Technology y Management*, 1(3), 317-320.
- Schmidt-Bleek, F. (2000). *The Factor 10/MIPS-Concept Bridging Ecological, Economic, and Social Dimensions with Sustainability Indicators*. Factor 10 Institute. Recuperado de: <http://www.factor10-institute.org/files/MIPS.pdf>.
- Schnare, A. y Struyk, R. (1976). Segmentation in urban housing markets. *Journal of Urban Economics*, 3(2), 146-166.
- Schultz, T.J. (1978). Synthesis of social surveys on noise annoyance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 64(2), 377-405.
- Schultz, T.J., Sandford, F. y Green, D. (1988). A theoretical interpretation of the prevalence rate of noise-induced annoyance in residential populations. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84(6), 2109-2112.
- Schulze W., D., Brookshire, D.S., Walther, E.G., MacFarland, K.K., Thayer, M., Whitworth, R.L., Ben-David, S., Malm, W. y Molenaar, J. (1983). The economic benefits of preserving visibility in the National Parklands of the Southwest. *Natural Resources Journal*, (23), 149-173.
- Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The annals of statistics*, 6(2), 461-464.

- Segado, I.S. (2000). Análisis de las disposiciones al pago de los usuarios y no usuarios de la playa la Bahía de Portman: un ejercicio de valoración contingente. *Cuadernos de Economía Murciana*, (14), 43-60.
- Segado, I.S. y Castro, J. (2003). Valor económico de una mejora y conservación de la calidad ambiental del Mar Menor. En M.A. Esteve, M. Lloréis y C. Martínez Gallur, *Los recursos naturales de la Región de Murcia: un análisis interdisciplinar* (pp. 208-212). Murcia : Universidad de Murcia.
- Shiller, R. (2009). *El estallido de la burbuja. Cómo se llegó a la crisis y cómo salir de ella*. Barcelona: Gestión 2000.
- Soguel, N. (1994). *Evaluation monétaire des atteintes à l'environnement: Une étude hédoniste et contingente sur l'impact des transports*. Neuchâtel: EDES.
- Soros, G. (2008). *El nuevo paradigma de los mercados financieros. Para entender la crisis económica actual*. Buenos Aires: Taurus.
- Stiglitz, J. (1990). Symposium on Bubbles. *The Journal of Economic Perspectives*, 4(2), 13-18.
- Stone, R., Kenneth, R. y E., Brickson (1972). *The Human Effects of Exposures to Aircraft Noise in a Residential Environment*. Santa Ana, California: Division of Environmental Health, Orange County Health Department.
- Strand, J. y Vagnes, M. (2001). The relationship between property values and railroad proximity: A study based on hedonic prices and real estate brokers appraisals. *Transportation*, 28(2), 137-156.
- Taylor, L.O. (2003). The Hedonic Method. En P.A. Champ, T.C. Brown y K.J. Boyle, *A primer on nonmarket valuation* (pp. 331-394). Holanda: Springer.
- Theil, H. (1971). *Principles of econometrics*. Amsterdam.
- Thune-Larsen, H. (1995). Charges on Air Traffic Noise by Means of Conjoint Analysis. Transportøkonomisk institutt, *TØI-rapport*, (289), 1-6. Recuperado de: <https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/T%C3%98I%20rapporter/1995/289-1995/289-1995-el.pdf>
- Tomkins, J., Topham N., Twomey J. y Ward R. (1998). Noise versus access: The impact of an airport in an urban property market. *Urban Studies*, 35(2), 243-258.
- Tougaard, J., Damsgaard, O. y Miller, L (2009b). Underwater noise from three types offshore wind turbines: estimation of impact zones for harbor porpoises and harbor seals. *Journal of the Acoustical Society of America*, 125(6), 3766-3773.
- Tránchez, J.M. (2001). Estimación de las diferencias de precios entre viviendas con distinta localización: una aproximación a través del modelo hedónico. En *VIII Encuentro de Economía Pública* (pp. 29). Cáceres.
- Unión Europea (1996). *Libro Verde de la Comisión de las Comunidades Europeas sobre Política Futura de lucha Contra el Ruido*. COM (96) 0540 Final. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Recuperado de: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:51996DC0540yqid=1485597391714yfrom=ES>.

- Uyeno, D., Hamilton S.W. y Biggs, A. (1993). Density of Residential Land Use and the Impact of Airport Noise. *Journal of Transport Economics and Policy*, 27(1), (3-18).
- Vainio, M. (2001). Comparison of Hedonic Prices and Contingent Valuation Methods in Urban Traffic Noise Context. En *International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*. La Haya: Internoise 2001.
- Van Praag, B. y Baarsma, B.E. (2005). Using Happiness Surveys to Value Intangibles: The Case of Airport Noise. *Economic Journal*, (115), 224-246.
- Vásquez, F., Cerda, U.A. y Orrego, S.S. (2007). *Valoración económica del ambiente, fundamentos económicos, econométricos y aplicaciones*. Buenos Aires: Thomson Learning.
- Venegas, S.A., S. Jiménez, Capdevila R. y J. Cardona (2003). Validación del Modelo INM de ruido de aeronaves mediante medidas experimentales. En *XXXIII Congreso Nacional de acústica – EAA Symposium on urban acoustics* (pp. 1-6). Bilbao: Tecniacústica.
- Vidal, F., Martínez-Carrasco, L., Belando, L. y Pérez, E. (2004). Valoración Económica del Parque Regional de Sierra Espuña (Murcia). En *V Congreso Nacional de Economía Agraria*, 15-17 septiembre. Santiago de Compostela: Asociación Española de Economía Agraria.
- Voith, R. (1993). Changing capitalization of CBD-oriented transportation systems: Evidence from Philadelphia, 1970–1988. *Journal of Urban Economics*, 33(3), 361-376.
- Wackernagel, M. y Rees, W.E. (1997). Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective. *Ecological Economics*, 20(1), 3-24.
- Walters, A.A. (1975). *Noise and Prices*. London.
- Weinberger, R.R. (2001). Light rail proximity: Benefit or detriment in the case of Santa Clara County, California? *Transportation Research Record*, (1747), 104-113.
- Wilhelmsson, M. (2000). The Impact of Traffic Noise on the Values of Single-Family Houses. *Journal of Environmental Planning and Management*, 43(6), 779-815.
- Witte, A., Howard, J. y H. Erekson (1979). An Estimate of a structural Hedonic Price Model of the Housing Market: An application of Rosen's Theory of Implicit Markets. *Econometrica, Econometric Society*, 47(5), 1151-1173.
- Wunderm, D. y H. Gutiérrez (1992). Modelos tipo Box-Cox: proposición de una estrategia de estimación. *Revista Análisis Económico*, 7(2), 79-102.